

Modellering av ett fossilfritt energisystem i Uppsala till år 2050

*Modeling of a fossil free energy system in Uppsala by
the year 2050*

Björn Isaksson

Modellering av ett fossilfritt energisystem i Uppsala till år 2050

Modeling of a fossil free energy system in Uppsala by the year 2050

Björn Isaksson

Handledare: Cay Åsberg, Semcon Sweden AB

Biträdande handledare: Björn Sigurdsson, Uppsala kommun

Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 30 hp

Nivå, fördjupning och ämne: Avancerad nivå, A2E, teknik

Kurstitel: Examensarbete i energisystem

Kurskod: EX0724

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2016

Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

Delnummer i serien: 2016:10

ISSN: 1654-9392

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: drivmedel, metanol, DME, vätgas, förgasning, förnybar

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

Most of the worlds energy demand is met by fossil fuels that will run out eventually. In Sweden however, sectors like heating and power production are more or less fossil free or will be very soon. The transport sector is however largely dominated by oil and its derivatives. Use of electricity in the transport sector is rising but alternative fuels seem to be needed to phase out fossil fuels in the coming 15-40 years. This thesis uses an existing model of Uppsala municipality to show the systemic effects of a transition from fossil fuels to a combination of electricity and biofuels manufactured within the energy system using gasification. Furthermore, technologies such as biochar, microalgae and fuel cells are utilized to mitigate climate impact. Compared to similar scenarios that uses imported fuels, the system that primarily uses methanol as fuel needs approximately 8-10 % more energy input with 13-34 % lower climate impact. The system that primarily uses hydrogen as fuel has less than 4 % difference in energy input and 32-59 % lower climate impact. The biomass needed to sustain the modeled system can be harvested in and/or nearby the municipality depending on scenario.

Sammanfattning

Fossila bränslen kommer förr eller senare att ta slut och bidrar dessutom till att påverka klimatet med växthusgaser. En av vår tids stora utmaningar är därför att begränsa användningen av fossila bränslen så mycket som möjligt. I sektorer som uppvärmning av fastigheter och elproduktion har arbetet med att fasa ut fossila bränslen kommit långt. I transportsektorn finns däremot ingen formulerad och verkställd strategi för att fasa ut fossila drivmedel som är den klart dominerande energikällan. Förutom klimatpåverkan bidrar fordon med fossila bränslen med bland annat utsläpp av partiklar, föroreningar och buller som är karaktäristiskt för förbränningsmotorer i allmänhet.

Arbetet syftar till att modifiera en geografiskt avgränsad modell av energisystemet i Uppsala kommun, Uppsala län, till att inkludera tillverkning och användning av biodrivmedel för att drastiskt begränsa användningen av fossila bränslen. Simuleringarna utvärderas med avseende på energianvändning, klimatpåverkan och biomassabehov i förhållande till tillgång.

Drivmedel utvärderades på en lång rad tekniska aspekter såsom systemverkningsgrad, kemiska egenskaper, miljöeffekter och teknisk komplexitet. Aspekter av mindre teknisk karaktär som till exempel marknad och styrmedel finns inte med i analysen. Efter att lämpliga drivmedel valdes ut gjordes ändringar i transportflottan och energiprocesser för att använda och tillverka dessa drivmedel på ett klokt sätt. Vidare inkluderas och utvärderas teknologier såsom biokol, mikroalger och bränsleceller för att minska klimatpåverkan.

Resultaten ger att ett system med metanol och DME som huvudsakliga drivmedel har bäst förutsättningar att fasa ut fossila drivmedel i samhället. Energibehovet i detta första steg är 8-10 % högre och klimatpåverkan är 13-34 % lägre än i motsvarande scenarion med importerade drivmedel. Vidare utveckling sker sedan mot ett system som i huvudsak använder vätgas som drivmedel. Energibehovet i detta system är jämförbart med motsvarande scenarion som använder importerade drivmedel då skillnaden är mindre än 4 % och klimatpåverkan är 32-59 % mindre. Båda dessa system använder även elektricitet i stor skala i transportsektorn.

Slutsatsen av arbetet är att det med genomtänkta processer är möjligt att tillverka tillräckligt stora volymer drivmedel med biomassa från närområdet för att kunna fasa ut fossila drivmedel de närmaste 20-30 åren och att detta ger en minskning av direkt utsläppta växthusgaser på systemnivå.

Exekutiv sammanfattning

Användningen av elektricitet i transportsektorn ökar men det verkar behövas alternativa drivmedel för att fasa ut fossila drivmedel under de kommande 15-40 åren. I denna rapport används en tidigare skapad modell av Uppsala kommun för att undersöka systemeffekterna av en övergång från fossila bränslen till en kombination av elektricitet och biobränslen tillverkade inom energisystemets gränser med hjälp av förgasning. Jämfört med liknande scenarion som använder importerade drivmedel har systemet som primärt använder metanol och DME som biodrivmedel cirka 8-10 % större energibehov med 13-34% lägre klimatpåverkan. Systemet som primärt använder vätgas som biodrivmedel har mindre än 4 % skillnad i energibehov och 32-59 % lägre klimatpåverkan. Biomassan som behövs för att tillgodose det modellerade systemet med förnybar energi kan skördas inom eller relativt nära kommungränsen beroende på vilket scenario som avses.

Förord

Alltför många människor har hjälpt till vid detta examensarbete för att nämnas vid namn. Jag vill ändå rikta ett tack till alla som hjälpt till och speciellt till de personer som bidragit med expertkunskap inom sina respektive områden. Ett extra tack till handledare Cay Åsberg och Björn Sigurdson för givande uppslag och idéer samt granskning under hela arbetets gång. Jag vill även speciellt tacka ämnesgranskare Cecilia Sundberg för ett stort engagemang.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	9
1.1 Inledning	9
1.2 Bakgrund	9
1.3 Syfte	10
1.4 Avgränsningar och systemgränser	10
2. Data och modellunderlag	11
2.1 Uppsala kommun och dess energisystem	11
2.2 Förgasning.....	14
2.2.1 Synergier med pappersmassafabriker och svartlut.....	16
2.3 Elektricitet och biodrivmedel i fordon.....	16
2.3.1 Elektricitet	16
2.3.2 Allmänt om biodrivmedel	17
2.3.3 Fischer-Tropsch (FT).....	19
2.3.4 Metanol.....	19
2.3.5 Metan.....	20
2.3.6 Vätgas.....	21
2.3.7 Dimetyleter (DME)	22
2.3.8 Sammanfattning och val av drivmedel	22
2.4 Biokol.....	24
2.5 Mikroalger.....	25
2.6 Bioenergipotential i Uppsala län.....	27
2.7 Power to gas.....	28
2.8 Beskrivning av modellen	29
3. Metod	30
3.1 LEAP och modellering.....	30
3.1.1 Programvaran LEAP.....	30
3.1.2 Scenarion i LEAP	31
3.2 Ändringar som påverkar alla scenarion.....	31
3.3 Utveckling Drivmedel.....	34
3.4 Utveckling förgasning	35
3.5 Utveckling metanolproduktion	36
3.6 Utveckling DME-produktion.....	36
3.7 Utveckling vätgasproduktion	37
3.8 Utveckling av fordonsparken	38
3.8.1 Persontransport bil	39

3.8.2	Stadsbussar	40
3.8.3	Regionbussar	41
3.8.4	Motorcyklar	42
3.8.5	Lätta lastbilar	42
3.8.6	Fjärrlastbilar	43
3.8.7	Distributionslastbilar	43
3.8.8	Flyg	44
3.8.9	Färjor	45
3.8.10	Bil och buss – Långdistansresor	45
3.8.11	Husbilar	45
3.8.12	Maskiner	46
3.8.13	Utveckling av fjärrvärme	46
3.8.14	Utveckling Biogasproduktion	48
3.8.15	Utveckling Avloppsrening och mikroalger	49
3.8.16	Utveckling Biokol	49
3.8.17	Övrig utveckling, bortom konventionella scenarion	50
3.9	Tidsplan	51
4.	Resultat	53
4.1	Klimatpåverkan	53
4.2	Energibehov och tillförsel av energi	55
4.3	Bioenergibehov i Uppsala kommun	59
4.4	Påverkan på fjärrvärmesystemet	61
4.5	Drivmedel	64
5.	Känslighetsanalyser	66
5.1	Minskad befolkningsökning	66
5.2	Flygresande	67
5.3	Ökad produktion av biokol	69
6.	Diskussion	71
6.1	Energi	71
6.2	Klimatpåverkan	71
6.3	Biomassa	71
6.4	Sammankoppling av energinät	72
6.5	Elektricitet och transport	72
7.	Slutsatser	73
8.	Vidare utredningar	74

Referenser	75
Appendix A – Utförlig sammansättning av fordonsparken.....	79
Appendix B - Power to gas	84

Definitioner och förkortningar

AKT	Aktörsscenario, se rubrik 3.1
BAKT	Bortom aktörsscenario, se rubrik 3.1
BMåL	Bortom Total potential scenario , se rubrik 3.1
Biogas	Energigas som normalt bildas av organiska restprodukter genom rötning. Innehåller metan, CH ₄ .
Bränsle	Substans som kan omvandlas så att användbar energi frigörs
CH ₄	Se metan.
DME	Dimetyleter. Gasformigt drivmedel. Tyngre än luft.
Drivmedel	Energibärare som används för att framdriva fordon eller farkost.
Energibärare	Ämne som transporterar eller lagrar energi.
Energiintensitet	Mått på energi per arbete eller nytta. Tex MJ/km eller kWh/m ² .
Energikälla	Sätt att utvinna användbar energi från naturen
GWP100	Global Warming Potential 100. Koldioxidekvivalenter på 100 års sikt. Används för att beskriva klimatpåverkan om inget annat anges.
Fordonsgas	Används normalt om metan som drivmedel.
FT	Fischer Tropsch-syntes. Se rubrik 2.3.2
H ₂	Vätgas
LEAP	Long range Energy Alternative Planing System. Mjukvara för modellering av energisystem. Se rubrik 3.1
MåL	Scenariot Total Potential, se rubrik 3.1
Metan	Gasformigt drivmedel. Relativt lätt och kemiskt stabilt.
SMR	Steam Methane Reforming, se rubrik 3.7
Trafikarbete	Mängd trafik, anges vanligen i fordonskilometer eller personkilometer
Verkningsgrad	Mått på energieffektivitet. Hur mycket energi en process ger i förhållande till hur mycket som den tillförs.
Vätgas	Gasformigt drivmedel. Små molekyler, mycket lätt.

1. Introduktion

1.1 Inledning

Simuleringar och modeller kan användas som planeringsunderlag genom att prova åtgärder i ett existerande system för att se hur ett önskat resultat kan uppnås. I Uppsala kommun används en modell av energisystemet i det strategiska arbetet kring kommunens energi och klimatarbete. Fossila drivmedel bidrar till en stor andel av kommunens växthusgasutsläpp och import av dessa drivmedel från utlandet utgör en stor säkerhetsrisk i det svenska energisystemet idag. Att minska användningen av fossila drivmedel är därför en av vår tids stora utmaningar.

1.2 Bakgrund

Sent under 2015 antog Uppsala kommunfullmäktige (2016) nya klimatmål. I stora drag består dessa mål i att kommunen skall vara fossilfri till år 2030 och klimatpositiv till år 2050. I en underlagsrapport från Uppsala kommunledningskontor (2015) till Färdplan klimatneutralt Uppsala respektive översiktsplanarbetet bedöms det befintliga energisystemet inte uppnå de tidigare, mindre stränga klimatmålen. I rapporten utforskas och formuleras en annan utvecklingsväg eller vision av energisystemet för att nå klimatmålet. I visionen beskrivs hur ett framtida energisystem kan utformas. Krav sätts på ett system med god motståndskraft mot störningar, hög självförsörjningsgrad och god resurshushållning med ett genomgående kretsloppstänk. En hypotes i rapporten är att detta kräver att lokala samhällsaktörer går in och tar ett större ansvar och en mer aktiv roll under en omställningsperiod av energisystemet för att säkerställa en tillräckligt snabb omställning och samtidigt nå flera olika samhällsmål.

I tidigare arbete som senast beskrivs i en rapport av Uppsala kommun (2015) har en datormodell över den geografiska kommunens energisystem tagits fram. Modellen beskriver energisystemets nuläge samt en rad tänkbara utvecklingsscenarion och har använts för att se vilka effekter olika åtgärder ger upphov till, främst med avseende på energi, miljö och klimat. Större delen av energibehovet och växthusgasutsläppen i kommunen sker antingen i det relativt välutbyggda fjärrvärmesystemet eller i transportsektorn. I tidigare skapade scenarion har dessa sektorer endast en mindre växelverkan. Ett sätt att uppnå en högre självförsörjningsgrad och samtidigt bidra till att uppnå de lokala klimat- och miljömålen är att producera biodrivmedel lokalt för att komplettera en ökad elanvändning i transportsektorn. För detta krävs ett ökat biomassa-uttag och förutsättningarna för detta behöver utredas. Vidare bidrar ett förändrat biomassa-uttag och interaktion mellan sektorerna i form av restprodukter till att sektorerna växelverkar mer, systemeffekter av ovanstående faktorer studeras i detta arbete genom att skapa två nya scenarion baserat på tidigare arbete.

1.3 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka om visionen som beskrivs kort under rubrik 1.2 är tekniskt rimlig och hur detta system kan förbättras. Fokus ligger på att ersätta fossila drivmedel i transportsektorn med en kombination av elektricitet och lokalt producerade biodrivmedel. Vidare undersöks hur de system som beskrivs i visionen kan interagera för att på ett optimalt sätt leverera de samhällstjänster som behövs. Arbetet syftar till att kvantifiera resultaten av ett sådant arbete genom att med utgångspunkt i tidigare skapad modell (Uppsala kommun, 2015) skapa två ytterligare scenarion som beskriver systemet och utvärdera detta system med avseende på energibehov, klimatpåverkan och biomassabehov.

1.4 Avgränsningar och systemgränser

Utöver energibehov och klimatutsläpp finns många andra värden som behöver studeras noggrant men som faller utanför studien. Energisäkerhet, ekonomi och sysselsättning är exempel på saker som inte studeras närmre i denna studie. Flera flöden och synergier mellan teknologier är ej energirelaterade, dessa nämns men simuleras inte och studeras inte närmre. I övrigt förutsätts att en liknande omställning sker i resten av Sverige men endast det geografiska området Uppsala kommun studeras.

I modellen ingår energirelaterade aktiviteter såsom fastigheter, industri, transport och arbetsmaskiner inklusive jordbruk med livscykelpåslag på utsläppsfaktorer. Utöver detta inkluderas invånarnas långväga resande. Även icke energirelaterade utsläpp från jordbruksmark och dylikt inkluderas. Varor som importeras in i det geografiska området inkluderas inte och inte heller transporten fram till kommungränsen. Framförallt importerat livsmedel och byggnadsmaterial har troligen stor påverkan på resultatet vilket gör att energiåtgång och klimatpåverkan från aktiviteter och konsumtion i ett större livscykelperspektiv är mer omfattande än modellen gör gällande då en del av invånarnas klimatpåverkan sker utanför systemgränserna. Modellens avgränsningar finns utförligare beskrivet i rapporten av Uppsala kommun (2015).

2. Data och modellunderlag

Detta avsnitt beskriver de data som använts för att bygga upp modellen, hur dessa har använts i modellen och vilka slutsatser som dragits med utgångspunkt från dessa data.

2.1 Uppsala kommun och dess energisystem

Uppsala kommun är lokaliserat i mitten av Uppsala län. Kommunen gränsar i sydöst till Knivsta kommun, i söder till Håbo kommun, i sydväst till Enköpings kommun, i väst till Heby kommun, i norr till Tierps kommun och i nordöst till Östhammar kommun. Dessa kommuner bildar tillsammans med Älvkarleby kommun, längst norrut i länet, Uppsala län. Figur 1 visar en bild hämtad från Regionfakta (2016) för en översikt av Uppsala Kommun och Uppsala län.



Figur 1: Uppsala kommun och Uppsala län

Direkt angränsande i sydöstlig riktning om Uppsala län finns Storstockholm och Arlanda flygplats med ett omfattande energibehov. Detta gör att eventuella överskott av energibärare har goda förutsättningar att exporteras i denna riktning. I Tabell 1 beskrivs folkmängd och deras fördelning i Uppsala läns kommuner.

Tabell 1: Kommuner i Uppsala län

Kommuner ¹ , Uppsala län	Folkmängd ² 2010	Andel i största tätort ³	Avstånd ⁴ bilväg Uppsala C till tätort C [km]
Uppsala (Uppsala inkl. Sävja)	197 787	0,76	0
Knivsta (Knivsta inkl. Alsike)	14724	0,66	21
Enköping	39759	0,53	41
Håbo (Bålsta)	19629	0,72	46
Heby	13382	N/A	47
Östhammar	21373	0,21	67
Tierp	20125	0,28	73
Älvkarleby (Skutskär)	9103	0,67	94
Totalt	335882		

1: Största tätort inom parentes om annat namn än kommunen 3: SCB (2016a)

2: SCB (2016)

4: Google (2016)

I Tabell 1 används 2010 års statistik då det är det senaste året där statistik för tätorter finns redovisat hos SCB. År 2010 uppgick länets folkmängd till 335 882 invånare, till 2015 hade folkmängden i länet ökat med drygt 18 000 invånare varav cirka 2/3 av ökningen skedde i Uppsala kommun. Vidare kan ses att Uppsala län är relativt glesbefolkat, mer än hälften av folkmängden bor i Uppsala kommun. Länets näst största ort är Enköping med cirka 20 000 invånare varför ingen plats i länet kan sägas ta emot stora mängder spillvärme utom Uppsala stad då det inte finns ett behov någon annanstans.

I Uppsala kommun finns ett mindre antal tätorter av mindre storlek, se Tabell 2. I LEAP-modellen, se kapitel 3.1, antas befolkningsutvecklingen i kommunen öka något från dagens nivåer vilket troligen betyder en än mer centraliserad befolkning kring Uppsala kommun i framtiden. Mer om detta i känslighetsanalysen av befolkningsutvecklingen, kapitel 5.1.

Tabell 2: Tätorter, Uppsala kommun

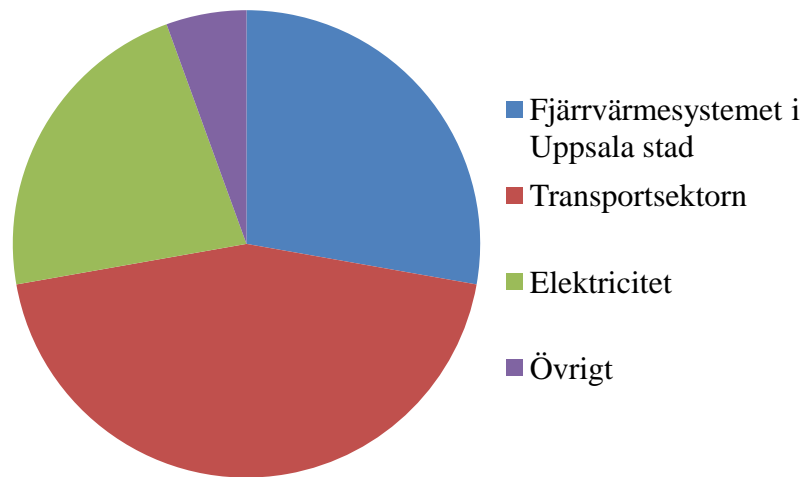
	Folkmängd ¹ år 2010	Avstånd ² bilväg Uppsala C till tätort C [km]
Storvreta	6347	15
Björklinge	3269	20
Bälinge	2437	14
Vattholma	1427	21
Vänge	1331	13
Lövstalöt	1046	12
Totalt	15857	

1: SCB (2016b)

2: Google (2016)

Om inget annat anges är data i följande stycke hämtade från LEAP-modellen, se kapitel 3.1, Bälinge, Vänge och Björklinge har egna fjärrvärmesystem som drivs av Bionär (2016), dessa system finns med i modellen och levererar årligen sammanlagt cirka 7 GWh. Storvreta har ett eget fjärrvärmesystem som levererar cirka 13 GWh årligen och drivs av Vattenfall (2015) och inkluderar ett värmelager på 5 GWh. Samtliga dessa fjärrvärmesystem använder i princip uteslutande biobränsle som energikälla.

Vattenfall (2015) driver även fjärrvärmesystemet i Uppsala, detta är väl utbyggt och levererar främst värme till i princip alla lägenhetsbostäder och lokaler i staden samt en mindre del andra bostadshus. Levererad energimängd uppgår i dagsläget till drygt 1500 GWh om året varav fjärrkyla, elektricitet och ånga står för cirka 250 GWh. Mixen av energikällor i fjärrvärmesystemet är cirka 60 % avfall, 20-30 % torv och sedan trä, spillvärme och el i fallande omfattning. Elproduktionen i kommunen från vindkraft och solceller uppgår till något mer än en GWh om året och lokal vattenkraft är obetydlig. Inom transportsektorn tillgodoses i princip hela behovet av fossil bensin, diesel och flygbränsle där bensin och diesel är låginblandad med förnybara drivmedel enligt gällande normer, normalt cirka 5-10 %. Undantaget för detta är stadsbussarna som körs på en stor andel biogas. Det totala energibehovet i kommunen uppgår till ungefär 5400 GWh om året och fördelningen av dessa illustreras grovt i Figur 2.



Figur 2: Typisk fördelning av energibehov i Uppsala kommun år 2010-2015. Observera att energislagen är olika både inom och mellan de olika sektorerna, figuren syftar till att ge en uppfattning om hur mycket energi som används i de olika sektorerna.

2.2 Förgasning

I en rapport använd för beslutsunderlag i Uppsala kommun (2015) pekas förgasning ut som en lovande teknologi att använda för tillverkning av drivmedel. Denna sektion undersöker teknologin närmare.

Enligt Basu (2010) är förgasning är en väl beprövad teknologi, tidiga försök med förgasning av biomassa för experiment med metan finns nedtecknat från 1600-talets andra hälft. Fram till 1800-talets början användes sedan förgasning för framställning av träkol och energigas. En kombination av träbrist och billiga fossila bränslen gjorde sedan att kol främst användes för framställning av energigas under 1800-talet. Under 1900-talet har förgasning används sparsamt. Detta beror troligen mest på att glödlampan eliminerar behovet av gas för upplysning och att en ökad utvinning av billig naturgas som en biprodukt till oljan som utvinns i allt högre grad kring denna tid. Då bildningsprocesserna är liknande för naturgas och fossil olja samexisterar dessa normalt i de naturliga reservoarer där de utvinns, Hilyard (2012) beskriver detta närmre. Nedan följer en kort beskrivning av hur förgasning i stora drag går till:

I förgasningssteget upphettas biomassa utan tillgång till syre vilket gör att biomassan övergår i gasform. Processen kan grovt delas in i fyra steg Enligt Badeau och Levi (s9-11, 2009):

1) Torkning

Biomassa torkas i en temperatur om normalt något under 100 °C med restvärme från senare processteg.

2) Pyrolys

Biomassa hettas upp ytterligare till en temperatur om cirka 500 °C med restvärme från senare processer vilket gör att biomassan övergår i fasta fraktioner främst bestående av kol och aska, flytande/tjärliknande fraktioner och lätta gaser såsom vätgas (H₂), kolmonoxid(CO), Koldioxid (CO₂), vatten (H₂O), metan (CH₄) och i viss mån andra kolväten.

3) Förgasning

Ytterligare ökad temperatur gör att fasta och gasformiga ämnen reagerar med varandra. I detta steg tillsätts ett förgasningsmedium som normalt är någon kombination av H₂O, syrgas (O₂), CO₂ eller luft. Detta resulterar i en reduktion av reaktiva och instabila gasformiga ämnen. Temperaturen i detta steg är normalt cirka 800-1300 °C beroende på vilken typ av reaktor som används.

4) Rening

Gasen samlas upp och renas på föroreningar såsom aska och andra oönskade föroreningar, till exempel organiska föreningar. Gasen som brukar kallas syntesgas eller syngas består nu i princip endast av vätgas (H₂), kolmonoxid(CO), Koldioxid (CO₂) och metan (CH₄). Exakt komposition avgörs genom en lång rad kemiska reaktioner enligt Smoot & Smith (1985) . Tabell 3 visar de huvudsakliga reaktionerna i förgasningssteget.

Tabell 3: Förgasningsreaktioner

$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$
$2C + O_2 \leftrightarrow 2CO$	$CH_4 + 2H_2O \leftrightarrow CO_2 + 4H_2$
$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	$2C_nH_m + 2nH_2O \leftrightarrow 2nCO + (2n + m)H_2$
$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	$2C_nH_m + nH_2O \leftrightarrow nCO + 2(m - n)H_2 + nCH_4$
$C + 2H_2O \leftrightarrow CO_2 + 2H_2$	$CH_4 + CO_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$
$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	$2C_nH_m + 2nCO_2 \leftrightarrow 4nCO - m H_2$
$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$
$4C_nH_m + nCO_2 \leftrightarrow 2nCO + 2(m - 3n)H_2 + 3nCH_4$	

För mer läsning om reaktionerna i Tabell 3 hänvisas till en utförlig sammanställning utförd av Badeau & Levi (2009) som ger en bra överblick över hur förgasningsprocesser kan hanteras. För syften i detta arbete är det viktigt att syntesgasens sammansättning kan styras genom att designa förgasningsprocessen på ett sätt som utnyttjar reaktionerna i Tabell 3. Moderna förgasningsprocesser har optimerats för att få så högt utbyte av gas som möjligt vilket gör att i princip allt kol i bränslet övergår till syngasen, de fasta rester som processen ger är i princip bara aska och eventuella föroreningar som fanns i bränslet.

2.2.1 Synergier med pappersmassafabriker och svartlut

Teknik för förgasning av svartlut har testats väl och anses vara ett bränsle som är något mer ekonomiskt enligt Antonsson och Carlsson (2011). Rapporten ger en bra överblicksbild över läget på den svenska biodrivmedelsmarknaden och vilka aktörer som fanns för några år sedan. I östra och centrala Svealand finns en rad pappersmassafabriker enligt Skogsindustrierna (2016).

Den närmaste fabriken ligger i Hallstavik, 6 mil bort från Uppsala centrum, men denna använder en mekanisk metod för tillverkning som inte ger någon svartlut att förgasa. Övriga fabriker befinner sig på 10-17 mils avstånd i nordlig och västlig riktning enligt Google (2016) och används således med fördel i andra, mer närliggande orter. Idag bränns normalt svartluten för att tillverka ånga och el för internt bruk, detta behov är dock mindre om massafabriken har lite eller ingen egen tillverkning av färdigt papper. Energin som svartluten tillför till massafabriken måste då tillföras på annat vis, sannolikt med någon typ av kraftvärmelösning eldad med biomassa för bra miljöprestanda.

2.3 Elektricitet och biodrivmedel i fordon

2.3.1 Elektricitet

Elektricitet som drivmedel är fördelaktigt på många sätt. Några av dessa listas nedan.

- **Hög verkningsgrad.**
En elmotor har cirka 90 % verkningsgrad medan en förbränningsmotor har cirka 35 % enligt Alvarez (2006, s1007) Detta ger en betydande energieffektivisering vid användning. En faktisk energieffektivisering sker endast om elektriciteten tillverkas med hög verkningsgrad.
- **Bromsättervinning**
En elmotor kan omvandla en del av fordonets rörelseenergi vid inbromsning till el vilket ytterligare ökar energieffektiviteten i elfordon. Detta har störst betydelse för fordon som regelbundet kör i stadstrafik där bromsning förekommer mer frekvent.

- **Miljövänligt**

Elektriciteten i Sverige är relativt miljövänlig och har låga klimatutsläpp. I ett framtidsperspektiv fram till år 2050 förutsätter detta att kärnkraften ersätts med ny produktion på ett sätt som inte ger alltför stor påverkan på detta.

- **Distributionssystem**

Sverige har ett väl utbyggt elnät. För att utnyttja detta i den svenska fordonsflottan krävs i princip bara uttag anpassade för fordon, vilket bör vara betydligt billigare än att bygga upp nya infrastruktursystem kring helt nya energibärare.

- **Hybridfordon**

Hybrid innebär i detta fall att eldrivna fordon utrustas med en förbränningsmotor optimerad för ett visst varvtal. Förbränningsmotorn körs sedan endast på det optimala varvtalet för att ladda batterierna vilket ökar energieffektiviteten även vid användning av ett alternativt drivmedel.

Elektricitet bedöms dock inte vara lämplig som enda energibärare för alla fordon överallt. Enligt en sammanställning av Sandén & Wallgren (2015) beror detta främst på relativt höga priser samt dålig räckvidd och prestanda. Dessa problem är generellt sett större för tyngre fordon. Vidare förutses brist på material till batterier begränsa mängden möjliga elbilar. Dessa problem kan delvis lösas genom till exempel någon typ av strömvtagning under körning, förbättrad återvinning av metaller, styrmedel och teknikutveckling. Den relativt höga kapitalkostnaden för elektrifiering gör dock att endast högt trafikerade vägar kan komma att bli föremål för att detta inom överskådlig framtid.

Ur ett energisäkerhetsperspektiv är det klokt att inte förlita sig på ett enda drivmedel, särskilt som detta drivmedel används för en lång rad tillämpningar utanför transportsektorn. Ett samhälle där elektricitet är den enda energibärare kapabel att utföra nyttigt arbete stannar helt vid störningar i produktion, transmission eller distribution. Detta gör att ytterligare drivmedel behövs i transportsektorn.

2.3.2 Allmänt om biodrivmedel

Verkningsgrader för framställning av utvärderade drivmedel som anges i Tabell 4 avser kalorimetriskt värmevärde på slutprodukten i förhållande till förgasad biomassa och bör ställas i relation till framställning av biokemiskt framställd etanol som har en korresponderande verkningsgrad på 35-38%.

Tabell 4: Verkningsgrader, biomassa till biodrivmedel genom förgasning

Biomassa till	Ptasinski et al (2009) Avser simuleringar	Badeau och Levi (s51- 54, s102-109, 2009)	Larsson et al. (2009) och Clausen et al (2010)
Vätgas	65-67	45	
FT- drivmedel	64-69	33-56	
Metanol	61-69	40-59	
Metan	65-72	58-70	
DME	-	-	55-61

Verkningsgrader i Tabell 4 tar inte hänsyn till den restvärme som bildas i processerna utan gäller endast energi från biomassa till drivmedel. Förgasningstemperatur av biomassa uppgår normalt till cirka 1000 °C enligt Ptasinski (2009) beroende på vilken typ av förgasningskammare som används. Den elektricitet, ånga och värme som behövs i processerna tillverkas i en väl designad process internt. Det bildas dock relativt högvärdig restvärme på grund av de höga processtemperaturerna och det är kritiskt att få avsättning för denna för att kunna konkurrera med andra tillämpningar, till exempel kraftvärme som också efterfrågar biomassa och har en hög systemverkningsgrad. Drivmedelsanläggningar behöver således placeras i närheten av ett större fjärrvärmenät där all spillvärme kan avsättas året runt.

Vid tillverkning av metan utformas förgasningsprocessen för att maximera utbytet av metan och minimera uppkomsten av andra produkter medan övriga processer utformas för att ge en syntesgas rik på vätgas och koldioxid vilket gör att tillverkning av metan är problematisk att samköra med de andra processerna. Varje teknologi för att tillverka drivmedel analyseras nedan främst beroende på teknikmognad, potential för utveckling, användningsområde samt en grov analys om hur väl energin tas tillvara i systemet; processens systemverkningsgrad. Detta innebär hur mycket av biomassan som kommer hela systemet tillgodo i hela kedjan från tillverkningsprocessen till och med användning och ger ett intervall genom att kombinera bästa tänkbara tillverkning och användning samt sämsta tänkbara tillverkning och användning enligt formel 1 och 2.

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = \eta_{bäst} \quad (1)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = \eta_{sämst} \quad (2)$$

För beräkningar enligt formel (1) och (2) beskrivs värden under respektive rubrik eller hämtas från Tabell 4. Dessa mått ger en grov uppskattning på hur stor del av biomassan som kommer systemet tillgodo och förutsätter att avsättning finns för biprodukter såsom elektricitet och spillvärme då dessa inkluderas i verkningsgraden för tillverkning. Uppskattningen tar heller inte hänsyn till eventuella distributionsförluster då dessa förutsätts vara liknande för samtliga alternativ. För analys angående val av drivmedel antas att varje teknologi under början av tidsperioden presterar ett värde nära gränsen för sämsta systemverkningsgrad och har potential att nå gränsen för bästa möjliga systemverkningsgrad omkring slutet av perioden.

2.3.3 Fischer-Tropsch (FT)

Under tryck på 20-40 bar och en temperatur på 180-250 °C ombildas koldioxid och vätgas till vatten och kolväten lämpliga för produktion av flytande drivmedel såsom bensin och diesel. Processen uppfanns 1923 och började användas i kommersiell skala på 30-talet och är således väl beprövad (Ptasinski, 2009).

Förbränningsmotorer med diesel och bensin ger dock fortsatta problem som är karakteristiska för förbränning av kolväten, såsom till exempel partikelutsläpp och toxiska organiska föreningar (Petersson, 2007). En anläggning av denna typ behöver vara stor för att dra nytta av skalfördelar då processen är komplex. Det finns därför stor risk för att det nuvarande systemet cementeras för överskådlig framtid om en FT-anläggning byggs. En studie av Prins et al (2004) gör gällande att ingen restvärme kan förväntas från en Fischer Tropsch- process. En mindre överproduktion av elektricitet i storleksordning av ett fåtal procent av inkommande bränslemängd är dock att vänta. Kolväten kan endast användas i förbränningsmotorer såsom diesel och ottomotor, vilka har en relativt låg verkningsgrad om cirka 35 % (något lägre för ottomotor och möjligen något högre för diesel) som inte kan förbättras ytterligare i någon större utsträckning av termodynamiska skäl (Alvarez, 2006) . För beräkningar av systemverkningsgrad har antagits att fyra procent av bränslet som processen använder blir överskottsel över hela perioden, detta ligger i linje med vad Prins et al (2004) visar.

Systemverkningsgrad FT:

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = (0,69 + 0,04) * 0,38 = 0,28 \quad (3)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = (0,30 + 0,04) * 0,33 = 0,11 \quad (4)$$

2.3.4 Metanol

Enligt fakta från MMSA (2016), en konsultfirma inriktad på metanol, används metanol idag främst inom kemiindustrin för framställning av en lång rad produkter. Övriga användningsområden inkluderar framställning av biodiesel, bränsle inom bland annat motorsport, låginblandning i bensin samt bränsle till bränsleceller. Metanol framställs idag nästan uteslutande från naturgas.

Drivmedlet är flytande vid normalt tryck och temperatur. Motorer som drivs enbart eller nästan enbart på metanol används inom motorsport, enligt Kowalewicz (1993). Metanol kan relativt enkelt omformas till DME enligt Xu et al (1997). Distribution och lagring i stor skala kräver något annorlunda teknik jämfört med distribution av konventionella drivmedelskolväten som bensin och diesel. Denna teknik är dock känd inom kemiindustrin där metanol hanteras i stor skala, enligt MMSA (2016). Enligt Semelsberger (2007) har metanol en liknande verkningsgrad som bensin (30 %) vid användning i förbränningsmotorer och vid användning i bränsleceller är energieffektiviteten cirka 35 % bättre. Detta ger en verkningsgrad för metanol i bränsleceller enligt ekvation (5):

$$\frac{0,3}{0,65} = 46,15 \% \quad (5)$$

Detta är något högre verkningsgrad än vad ett metanoldrivet bränslecellssystem Ptasiński (2009) presterar idag men lägre än vad enskilda celler kan prestera. Verkningsgraden för dessa kan förbättras betydligt och är föremål för forskning, till exempel Schultz et al (2001). Därför antas att denna verkningsgrad är rimlig inom den period då dessa är avsedda att användas i stor skala, det vill säga inom ett par decennier. En rapport från Morandin (2015) gör gällande att vid tillverkning av metanol kan energi motsvarande cirka 45 % av energiinnehållet förväntas fås ut i form av spillvärme och en liten andel el i metanolen från processen. Används detta på de högre verkningsgraderna i metanolprocessen fås dock en totalverkningsgrad mycket nära 100 %. Morandin (2015) gör gällande att en totalverkningsgrad på 84 % är möjlig i simuleringar med dagens teknologi. Maximal totalverkningsgrad i tillverkningsledet i ett framtida system antas därför vara 85 % för denna analys.

Låginblandning i dagens motorer är möjlig och otto-motorer som normalt använder bensin kan efter en mindre omfattande ombyggnad använda en godtycklig blandning av metanol och bensin. Vidare är bränsleceller med metanol som bränsle välutvecklade och finns för försäljning idag, till exempel Seacomfort (2016).

Systemverkningsgrad metanol:

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = (0,85) * 0,4615 = 0,39 \quad (6)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = (0,4 * 1,4) * 0,30 = 0,17 \quad (7)$$

2.3.5 Metan

Metan är en relativt stabil molekyl vilket gör att den är svår att omforma. Detta kan ses på de höga arbetstemperaturer (Ptasiński 2009) som krävs i bränsleceller för metan vilket gör dem klumpiga samt endast lämpliga för kontinuerlig drift och alltså olämpliga för de allra flesta transportändamål. Distribution och användning i fordon försvåras av att metan kräver ett högt tryck eller låg temperatur för att komprimeras till en energidensitet jämförbar med bensin. För gasbilar är cirka 200 bar standard enligt Gasbilen.se (2016), en hemsida som drivs av branschorganisationen Energigas Sverige. Alternativt kan temperaturen sänkas till cirka -160 °C för att metan skall övergå i flytande form. Dessa höga tryck och låga temperaturer gör tankning, lagring och distribution svårt; jämfört med andra drivmedel som kräver betydligt lägre tryck eller högre temperaturer för att lagra på ett praktiskt vis. Det pågår dock forskning av till exempel Wegrzyn och Gurevich (1996) på att lagra fordonsgas vid lägre tryck, cirka 25 bar, i svampliknande material med liknande prestanda som vid högre tryck.

Metan kan användas i dieselmotorer efter mindre ombyggnation. Drivmedelstank med tillhörande system behöver bytas ut helt vid konvertering. Drivmedlet ger betydligt lägre utsläpp av föroreningar vid användning i dieselmotor än motsvarande bränsle med

långa kolkedjor, till exempel diesel. Vid användning i dieselmotor antas metan ha samma verkningsgrad (38 %) som diesel. Anläggningen GoBiGas (2016) i Göteborg rapporterade i november 2015 att man producerade nära 40 MWh biogas och över 12 MWh värme per dygn. $12/40=0,3$ ger att värmen motsvarar 30 % av den energi som finns i gasen. Tillämpas detta på de högsta värdena i Tabell 4 blir verkningsgraden dock nära 100 %. Då metanisering är en något enklare process än metanoltillverkning är det inte orimligt att den potentiellt har en något högre totalverkningsgrad. För denna analys antas därför metanisering ha en maximal verkningsgrad om 90 %. Detta stämmer väl med CORTUS(2016) som marknadsför en modul för tillverkning av metan genom termisk förgasning med en verkningsgrad på 85 % som ger värme motsvarande 33 % av den metan som processen ger.

Systemverkningsgrad metan:

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = 0,9 * 0,38 = 0,34 \quad (8)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = (0,58 * 1,3) * 0,38 = 0,29 \quad (9)$$

2.3.6 Vätgas

Vätgas är tekniskt utmanande att distribuera på grund av hög risk för läckage samt mycket höga tryck eller låga temperaturer som krävs för att vätgasen skall övergå i flytande form enligt Subramani (2015). Enligt Ptasiński (2009) har ett bränslecellssystem en verkningsgrad på 30-50 % medan enstaka celler kan ha en verkningsgrad på 50-70 %. För denna analys antas att en vätgasbränslecell har en verkningsgrad på 60 % då de i princip uteslutande kan vara aktuella att använda i slutet av tidsperioden på grund av problem relaterade till distribution och lagring som förutsätts lösas kommande decennier. Cortus (2016) marknadsför en modul för tillverkning av vätgas genom förgasning av biomassa som ger en fördelning av cirka 83 % vätgas och 17 % värme på produkterna med en systemverkningsgrad på nära 87 % från biomassa till produkter. I ett projekt av SSAB (2016), LKAB och Vattenfall utvärderades om vätgas kan ersätta kol vid framställning av stål vilket skulle kunna bidra till utsläppsminskningar. Vid framställning av vätgas finns därför möjlighet att sälja eventuell överkapacitet både till kemiindustri och till stålindustri.

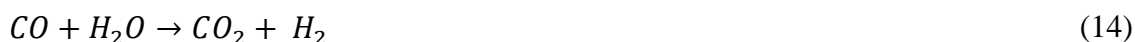
Systemverkningsgrad vätgas:

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = (0,87) * 0,6 = 0,52 \quad (10)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = (0,45/0,83) * 0,3 = 0,16 \quad (11)$$

Utöver förgasning kan vätgas tillverkas i en process som heter Steam Methane Reforming (SMR). I SMR ombildas metan och vattenånga under tryck till vätgas och koldioxid, delvis via kolmonoxid enligt ekvation 12-14.





Detta är det huvudsakliga sättet att tillverka vätgas på idag och normalt används fossil naturgas som källa för metan. Reaktion 12 och 14 är endoterma vilket innebär att energi behöver tillsättas i reaktionen.

2.3.7 Dimetyleter (DME)

DME har liknande egenskaper vid användning och förbränning som metan. Drivmedlet omformas dock lättare och övergår i flytande form vid cirka 5 bar vilket ger en enklare distribution och lagring samt mindre klumpiga bränslesystem i fordon på grund av ett lägre tryck. Vid normalt tryck och temperatur har DME en densitet på 2,1 kg/m³ medan luft har en densitet på cirka 1,2 kg/m³. Detta gör att DME vid läckage inte stiger uppåt som många andra gasformiga bränslen utan stannar kvar i marknivå vilket ökar risk för kvävning och explosion vid läckage. Det är därför extra kritiskt att tankar innehållande DME utformas på ett sådant sätt att läckage förhindras även vid allvarliga olyckor. Ett projekt med Volvo finansierat av Vinnova (2016) visar dock att den tekniska utvecklingen på detta område är långt gången och problemet är tekniskt möjligt att lösa inom en snar framtid.

När DME används i en dieselmotor är energieffektiviteten densamma som vid användning av diesel och vid användning i bränslecell är effektiviteten jämförbar med metanol för samma tillämpning enligt Semelsberger (2007). Enligt Landälv (2016) tillverkas DME normalt genom att göra metanol och sedan omforma detta till DME. I processen bör 95 % av metanolen bli DME och resterande 5 % av energin blir antingen restvärme eller förluster. För denna analys har antagits att 97 % av energin i metanolen kan tillgodogöras inom systemet. Detta kan anses stämma överens med värden i Tabell 4 som placerar verkningsgraden för tillverkning av DME i samma intervall som metanolproduktion. DME används i en något mindre utsträckning inom kemindustrin.

$$\eta_{tillv_bäst} * \eta_{anv_bäst} = (0,85 * 0,97) * 0,4615 = 0,38 \quad (15)$$

$$\eta_{tillv_sämst} * \eta_{anv_sämst} = (0,4 * 1,4 * 0,97) * 0,38 = 0,21 \quad (16)$$

2.3.8 Sammanfattning och val av drivmedel

I Tabell 5 redovisas en sammanfattning av de data som är mest kritiska för att utvärdera vilket drivmedel som är mest fördelaktigt. Till vilken grad synergier kan uppnås med industrier som använder dessa drivmedel i sin produktion är föremål för vidare utredning. Kan drivmedel säljas till ett marknadsmässigt pris beroende på styrmedel och marknadslösningar bör de ha en stor fördel över motsvarande konventionella drivmedel baserade på fossil energi på grund av den goodwill som uppstår av att ersätta fossila alternativ med förnybara. I en vidare utredning bör även frågan utredas om dessa

industrier bör vara lokala, och således skapa nya jobbtillfällen lokalt, eller introduceras i nuvarande industri på annan ort.

Tabell 5: Sammanfattning av drivmedelsdata

	Motor-typ	System- verknings- grad ¹ [%]	Nackdelar	Fördelar
Fischer Tropsch diesel	Otto, Diesel	11-28	Utsläpp av partiklar och toxiska föreningar	Väl utbyggd distribution och fordonspark.
Metanol	Otto, bränsle-cell	17-29		Användnings-områden inom kemiindustri. Liknande distribution som petroleumprodukter. Låginblandning i dagens motorer möjlig.
Metan	Diesel	29-34	Medelsvårt att distribuera. Problematiskt samtillverka med andra drivmedel.	Viss utbyggd distribution och fordon, mycket begränsat lokalt
Vätgas	Bränsle-cell	16-52	Problematiskt att distribuera, teknisk utveckling krävs.	Användnings-områden: Kemiindustri, möjligen stålframställning
DME	Diesel, bränsle-cell	21-38	Tyngre än luft	Liknande distribution som petroleumprodukter. Begränsad användning inom kemiindustri

1: Avser andel av energin i biomassa som kommer systemet tillgodo i form av drivmedel, restvärme eller elektricitet. Detta mått är relevant då restvärme ersätter värme som i annat fall behövs produceras i kraftvärmeverk, troligen av biomassa. Kraftvärmeverkets produkter är värme och el i jämförbara proportioner med dessa processer.

I Tabell 5 kan ses att Fischer Tropsch ger ett relativt dåligt utnyttjande av biomassa, ger skadliga utsläpp vid användning och det finns ingen möjlighet att frånga förbränningsmotorer till förmån för bränsleceller som ger mindre utsläpp och buller vid användning vilket är önskvärt enligt Uppsala kommun (2015a). Metan ger ett relativt gott utnyttjande av biomassa men är svårt att tillverka tillsammans med, och omforma till, andra drivmedel som utreds. Vidare kan metan inte utnyttjas direkt i bränsleceller för fordon och de höga tryck som behövs för effektiv lagring och distribution talar emot ett system baserat på detta drivmedel. Tillverkning av metan genom förgasning tar idag tillvara på energin i biomassan på ett bra sätt men utsikterna för att förbättra detta ytterligare är dåliga. Av dessa skäl väljs Fischer Tropsch och tillverkning av metan genom förgasning bort i ett framtida system. Metanol kan distribueras på ett liknande sätt som bensin, diesel och andra flytande drivmedel eller i rör som inte kräver trycksättning. Korrosionsproblem vid distribution och lagring kan kringgåas genom att använda väl beprövad teknik från kemibranschen där metanol använts i stora mängder sedan 1800-talet. Det finns en stor marknad för metanol vilket gör att eventuell

produktion som inte används inom som bränsle bör kunna säljas vidare till tredje part som ett miljövänligt alternativ till fossilt tillverkad metanol.

DME fungerar bra i dieselmotorer efter mindre ombyggnationer. Det är lättare att hantera än metan då det blir flytande vid cirka 5 bars tryck, vilket ställer mindre krav på mobila applikationer såsom fordon vilket ger enklare tekniska lösningar. Kan användas direkt i bränsleceller och framställs idag normalt från metanol.

Vätgas är idag alltför tekniskt utmanande att distribuera och lagra på grund av att molekylen är liten och kräver högt tryck eller lågt tryck för att övergå i flytande form. Dessa problem kräver betydande forskning och utveckling för att adresseras enligt NRC (s 37-44, 2004). Tekniken för fordon som använder vätgas finns dock, till exempel finns Toyota Mirai (2016) till försäljning i skrivande stund. Vätgas bedöms dock ha en plats långt in i framtiden på grund av hög verkningsgrad vid både tillverkning och användning när tekniska utmaningar är lösta.

Av ovanstående anledningar föreslås initialt ett energisystem där metanol och DME tillverkas genom förgasning för att användas som drivmedel, samtidigt som el används i allt större utsträckning. Dessa tre drivmedel kan implementeras snabbt med känd teknik och har en god energieffektivitet som med ny teknik kan förbättras ytterligare. Metanol kan gradvis blandas in i fordon som drivs av fossila drivmedel och är anpassade för detta. Distribution av el är utbyggd, fler uttagspunkter för fordon behövs dock. I ett senare steg bör metanol och DME bytas ut mot vätgas då detta drivmedel bättre utnyttjar energin i biomassan som används som källa, det finns dock tekniska problem att lösa innan detta kan göras.

2.4 Biokol

I underlagsrapporten Uppsala kommun (2015a) tas biokol upp som ett sätt att minska kommunens klimatpåverkan. Tillverkning av träkol bör då ske inom systemet för att användas på sådant vis att kommunens klimatpåverkan minskar. I detta avsnitt undersöks tekniken och användningsområdena närmre.

Utvecklingen av förgasningsprocesser har syftat till att öka andelen producerad syntesgas och minska biprodukter såsom fasta fraktioner i form av kol och aska och VOC. Kol tillverkad av biobränslen kan dock användas för en lång rad klimatpositiva ändamål enligt Gustafsson (2013):

- **Jordförbättrare.** Deposition av biokol som jordförbättrare i åkermark kan leda till bättre markegenskaper vilket genererar större skördar. En studie av Skytte (2010) gör gällande att påverkan främst gäller sandjordar och således inte Uppsalas lerjordar. Deposition av kol i mark ger dock alltid en kolsänka då ett kilo kol i jord har en halveringstid på cirka 6000 år beroende på markegenskaper och motsvarar cirka 3,7 kilo koldioxid.

- **Tillsats vid metanproduktion.** Vid försök har en tillsats om fem viktprocent biokol i substrat från kogödsel för metanproduktion ökat metanproduktionen med 17-35% då det relativt porösa biokolet ger en större yta för metantillverkande bakterier.
- **Tillsats i foder.** Försök med biokol som tillsats i foder för nötkreatur i 20 gram per dag och djur har visat på minskade metanutsläpp från kor på cirka 22 respektive 10 % samt möjligen ökad tillväxt på unga djur.
- **Filtermaterial.** Aktivt kol som används i filter för att absorbera oönskade ämnen har upp till tre gånger mer yta per vikt än det biokol som studeras av Gustafsson (2013) men biokol bör kunna användas i applikationer som inte kräver ett mycket poröst kol, sannolikt med en större mängd kol.
- **Bränsle.** Biokol har ett värmevärde på cirka 35 MJ/kg, vilket är upp till dubbelt så högt som många andra biobränslen. Detta gör att biokol kan transporteras längre sträckor än andra biobränslen. Förbränning av biokolet ger dock ingen positiv klimatpåverkan jämfört med att använda andra biobränslen.
- **Metallindustrin.** Inom metallindustrin används en stor mängd kol för framställning av metaller. Vid problem med att få avsättning för den mängd kol som bildas bör en minskning av koldioxidutsläpp kunna uppnås genom att ersätta fossilt kol i denna industri. Visst utrymme för avvikelser i kolets fysikaliska egenskaper bör kunna tillåtas vid en mycket låg inblandningsgrad.

2.5 Mikroalger

I projektet "Den varma och rena staden" som släpper en rapport hösten 2016 visas att det går att producera cirka 50 % mer biogas och använda 50 % mindre el i reningsverk enligt Paulsson (2016). Ökningen av biogas sker till viss del genom att förändra det biologiska reningssteget, denna förändring behandlas under rubrik 3.8.14 och beräknas stå för 30 procentenheter av ökningen. Ytterligare ökning av biogasproduktion sker genom en algodling i anslutning till reningsverket. I modellen blandas dessa alger istället in i förgasningsprocessen då energiutbytet i algrötningsprocessen är dåligt enligt Paulsson (2016). Vidare hänvisar Paulsson (2016) till Gentili (2014) angående tillväxthastighet av alger då dessa värden skall vara jämförbara med studier i projektet. I en studie gjord av Pittman (2011) presenteras en handfull studier under liknande förutsättningar med tillväxthastigheter som varierar flera storleksordningar. Sett till tillväxthastighet i dessa studier är Woertz et al (2009) medianen. Data som använts för beräkningar av algtillväxt presenteras i Tabell 6.

Tabell 6: Data, mikroalger

	Woertz (2009)	Gentili (2015)
Tillväxthastighet [g/dag*m ³]	270,7	183,3
Flöde ¹ [m ³]	40000	40000
Värmevärde ² [MJ/kg]	22	22
Drift dagar/år	330	330
Bassängdjup [m]	NA	0,3
Energiinnehåll [GWh/år]	48,0	32,5
Energiutbyte vid biogasproduktion ³ [%]	8	12
Uppehållsdagar	2	2
Ton TS/ha*år	196,5	133,1

1: Detta motsvarar minimumflödet i Kungsängsverket (2015) i Uppsala

2:Hämtat från Avfall Sverige (2009)

3: Detta värde ger en ökning av biogasproduktion med 20 % från Kungsängsverket i Uppsala

Energiutbyte vid biogasproduktion som räknats fram stämmer väl med en rapport av Nordlander et al (2011) som fastställer att ungefär 10-20 % av energiinnehållet i substratet blir biogas i några svenska biogasanläggningar. Andersson och Idstam (2013) har utvärderat algutväxt och gjort en ekonomisk analys av mikroalgsproduktion. För att uppskatta kostnaden för att producera alger används Idstam Anderssons analys. Bioreaktorer, som används i denna studie är mindre platskrävande men generellt dyrare än odling i dammar. Det bör dock vara problematiskt att hantera de stora massflödena för denna applikation i bioreaktorer. Den kostnadsanalys som de gör bör alltså ge en övre gräns för vad systemet i Uppsala bör kosta. Stora delar av anläggningskostnaderna är relevanta men kostnader för näringsämnen och koldioxid sätts till noll då dessa fås ur reningsverket respektive förgasningsprocessen. Även personalkostnader försummas då de är små och delas med övrigt reningsverk. Detta ger en kostnad av 223 kronor per MWh alger räknat på en tillväxthastighet på 250 g/dag*m³, en växelkurs på 9,36 kr/euro och de antaganden som redovisas i Tabell 6. Detta kan jämföras med odling av energiskog i form av Salix som normalt uppgår till cirka 140 kr/MWh enligt Bioenergiportalen (2016). En del av kostnaden för algodlingen bör dock förläggas på den reningstjänst av avloppsvattnet som algerna utför vilket gör att kostnaderna blir jämförbara. Enligt Bioenergiportalen (2016) ger en välskött salixodling cirka 9 ton torrsbstans per år. Värmevärden för salix och alger är jämförbara (Miljöfaktaboken s 139, Avfall Sverige). Med antaganden i ovanstående tabell fås att en algodling ger 15-22 gånger mer biomassa per yta jämfört med en salixodling. Markytan som behövs för en algodling i dammar som hanterar 40 000 m³ vatten om dagen med två dagars uppehållstid, ett vattendjup på 0,3 meter och 50 % extra markyta för utrustning och dylikt blir 40 hektar, vilket motsvarar ett område med ett kvadratisk område med sidan 632 meter.

Idag används värmepumpar för att vid lönsamma tillfällen ta ut den värme som finns i restvattnet, denna värme bör vara tillräcklig för att förse algodlingen med värme hela året. För beräkningar antas att algodlingen följer nuvarande BBR-krav på energiprestanda, 70 kWh/år*m², för lokaler. Enligt Kungsängsverket (2015) är inkommande vatten som kallast 10 °C vilket ger cirka 5 °C i vattnet som kan utnyttjas för värmebehovet till algodlingen. Vidare antas att hela ytan kräver värme enligt BBR. Detta ger att tillgänglig värme är tre gånger större än behovet. Detta värmnet borde vara mer än tillräckligt för att försörja algodlingen även under de kallaste vintermånaderna. De stora genomskinliga ytor som krävs för algodlingen bör dock ge en relativt dålig energiprestanda för byggnaderna vilket gör att inget värmeöverskott förväntas under vinterhalvåret när värmebehovet är stort. När värmebehovet är mindre antas övrig värme vara mer ekonomisk då värmepumparna kräver relativt mycket el för att föra över den lågvärdiga restvärmen från avfallsvattnet till fjärrvärmesystemet. Detta innebär att ett visst bortfall av värmetillskott från värmepumpar i fjärrvärmesystemet när anläggningen för mikroalgsproduktion byggs. Då värmepumparna står för en mycket liten del av tillförd värme i fjärrvärmesystemet är dock påverkan på systemet liten.

Koldioxid som tillsätts till processen tas från en närliggande anläggning för produktion av biokol. Denna anläggning dimensioneras så att den koldioxid som produceras täcker hela behovet av koldioxid i algodlingen. El krävs för att pumpa koldioxid och vatten i algodlingarna. I Andersson Idstam (2015) uppskattas den el uppgå till 6,75 promille av den effekt som plockas ut i form av bioalger. I systemet används även värmepumpar för uppvärmning under vinterhalvåret. Detta avrundas därför uppåt till 8 promille.

2.6 Bioenergipotential i Uppsala län

I modellen simuleras energibehovet för Uppsala kommun som under perioden förväntas öka sin användning av bioenergi. Byfors (2014) har undersökt bioenergipotentialen i Uppsala län och Uppsala kommun, sammanfattning av utvinningsbar biomassa kan ses i Tabell 7.

Tabell 7: Bioenergipotential i Uppsala kommun och Uppsala län

Årlig bioenergiuttag [GWh]	I länet	I kommunen
Energiskog (salix)	98	58
Areal för export av spannmål ¹	44	26
Förädlingspotential ²	341	200
Energigrödor på nedlagd åkermark ³	201	118
Energigrödor på trädesareal	644	378
Biogas av gödsel och odlingsrester	513	301
Halm	1326	778
Grot	562	330
Stubbar	562	330
Totalt	2924-3850	1760-2240

1:Ökad produktion till följd av växtförädling

3: Antagande om 40 MWh/(ha*år)

2:Areal som idag används för att odla grödor som exporteras ut ur systemet

Byfors (2014) beräknar potentialen från halm på maximal tillgänglig massa utan hänsyn taget till konkurrerande tillämpningar samt tekniska och ekonomiska aspekter. Linné et al(2008) gör dock gällande att cirka 20-25 % av massan förloras i sådana tillämpningar. I Tabell 7 har därför 22 % dragits från Byfors (2014) siffror för att sedan avrundas neråt till närmsta heltal. Vissa biomassaavgifter i Tabell 7 konkurrerar med varandra, främst biogas av gödsel och odlingsrester där halm står för en övervägande del, samt potentialen från halm där samma halm istället förbränns. Generellt kan sägas att halm och odlingsrester ger ett relativt dåligt energiutbyte vid biogasproduktion varför tillämpningar som utnyttjar förbränning (eller förgasning som har liknande systemverkningsgrad) ger ett värde i den övre delen av intervallet. Mängden total tillgänglig biomassa i Tabell 7 kan därför sägas delvis bero på tillämpningsområde varför endast den övre gränsen från Byfors (2014) minskas med hela värdet av den halm som dras bort från Byfors (2014) siffror då förbränning/förgasning av halm tar bättre vara på energin än till exempel biogastillverkning.

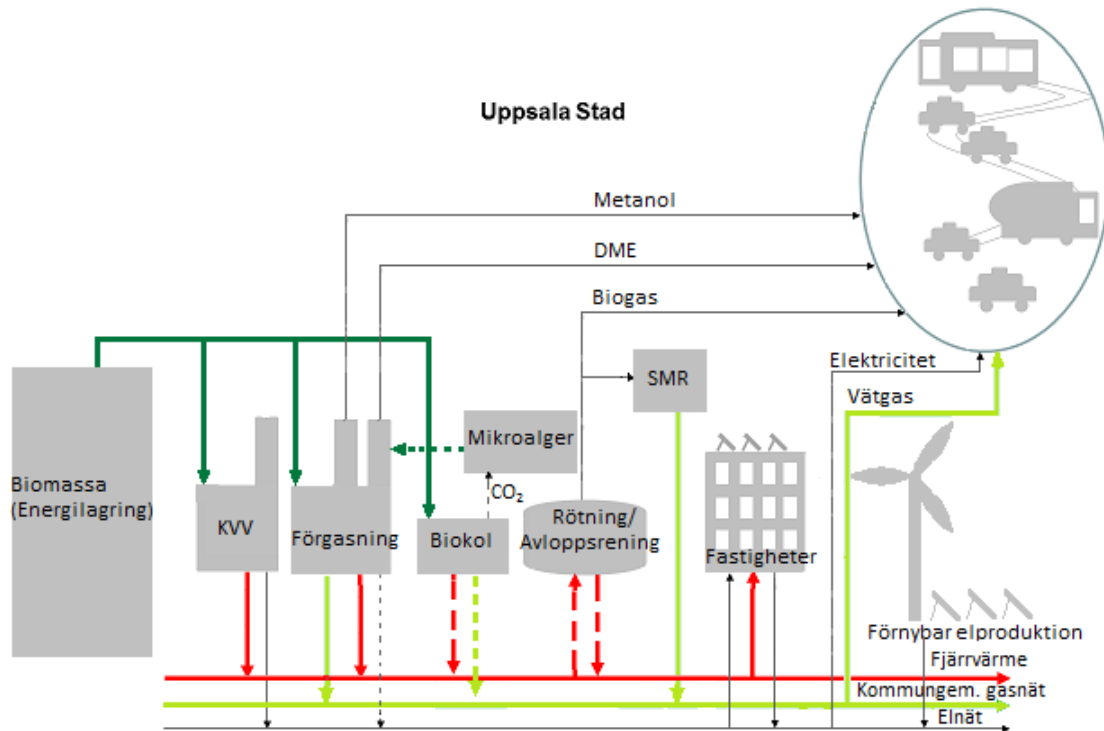
2.7 Power to gas

Genom hydrolys kan man använda elektricitet för att tillverka vätgas och syrgas av vatten. Vätgasen kan sedan användas för att tillsammans med koldioxid tillverka metan, vilket tillsammans brukar kallas Power to gas. I en framtid med alltmer intermittent elproduktion finns anledning att tro att elpriset kan variera alltmer. I Appendix B redovisas att andra platser i Sverige bedöms ha bättre förutsättningar för storskalig användning av hydrolys. Större anläggningar placeras därför troligen inte i Uppsala län varför hydrolys inte kommer att påverka energibalansen i någon större utsträckning. I modellen exkluderas därför power to gas.

2.8 Beskrivning av modellen

Tillverkning av drivmedel beskrivs i

Figur 3, streckade linjer innebär relativt små flöden.



Figur 3: Uppsalas framtida energisystem

Kraftvärmeverket (KVV) tillgodoser likt idag det värmebehov som inte täcks av andra processer och levererar en liten mängd el som biprodukt. Utvecklingen av KVV beskrivs under rubrik 3.8.13. Steam Methane Reforming (SMR) innebär omvandling av metan till vätgas och beskrivs närmre under rubrik 2.3.6. För att undersöka klimat och energimässiga effekter av ett system med biomassa-baserade drivmedel skapas två nya scenarion i LEAP-modellen. Se även kapitel 3.1.2

- Bortom Aktörsscenario (BAKT). Ärver storheter som inte finns beskrivna nedan från Aktörsscenario 1 (AKT).
- Bortom Total Potential (BMåL). Ärver storheter som inte finns beskrivna nedan från Total Potential (MåL)

De viktigaste skillnaderna mellan de två nya scenariorna och de ursprungliga scenarierna är att en större mängd drivmedel produceras lokalt samt att bränsleceller i fordon introduceras i stor skala mot slutet av den simulerade perioden.

3. Metod

För att välja nya, lämpliga drivmedel studeras tänkbara drivmedel med avseende på egenskaper och metoder för framställning av dessa. Möjliga sätt för framställningsmetoderna att samverka fastställs sedan för att ta reda på hur tillverkningen av dessa drivmedel bör fungera.

När tillverkningskedjan är fastställd studeras användningen av drivmedel och hur denna måste förändras för att möta uppsatta mål och förutsättningar i tillverkning. I ett nästa steg studeras teknologier som kan ha en positiv påverkan på hur systemet presterar med avseende på klimatpåverkan och biomassabehov. Slutligen införlivas de processer och de förändringar i energibehov som tagits fram i modellen för att utvärdera hur förändringarna påverkar energisystemet och vilka synergier som kan dras.

3.1 LEAP och modellering

Den modell som sedan tidigare är skapad för att beskriva energisystemet är gjord i simuleringsprogrammet LEAP (2016) som är utvecklat och underhålls av Stockholm Environment Institute.

3.1.1 Programvaran LEAP

Programvaran Long range Energy Alternative Planing system (LEAP) är uppbyggt kring två sidor. En behovssida där användaren skapar sektorer såsom till exempel transport, hushåll och industri. I varje sektor lägger användaren till teknologier med en viss omfattning. Till exempel ett visst antal hushåll eller bilar som kör en viss sträcka. Användaren matar vidare in en energiintensitet för de energislag som används, till exempel en viss mängd värme och el för varje hushåll eller en viss mängd bensin per sträcka.

Den andra sidan av modellen är omvandling. I denna kan användaren lägga till hur de energibärare som behövs på behovssidan tillverkas. Energi i form av till exempel el kan importeras in i modellen eller omvandlas från vind i en modul för vindkraft. Varje omvandlingssteg ges egenskaper i form av till exempel effekt, tillgänglighet och verkningsgrad. Genom att länka beroenden kan relativt komplicerade system studeras ingående givet att data om varje enskilt steg är känt. Kända data om systemet som till exempel befolkningsutveckling och hur dessa påverkar energibehov anges. De utsläpp som skall studeras kan anges på båda sidor i modellen och utveckling för samtliga data i modellen kan ändras över den tid som skall studeras. I den färdiga modellen kan sedan energiflöden och klimatutsläpp studeras. Utöver detta innehåller programmet verktyg för bland annat cost/benefit-analys och dimensionering av både energiomvandling och energibehov men dessa används inte inom ramen för detta arbete.

3.1.2 Scenarion i LEAP

I LEAP-modellen beskriven i Uppsala kommun (2015) finns en rad scenarion. Fyra av dessa utgör referensfall under förutsättning för en svagare och starkare nationell miljöpolitik under en svagare och starkare befolkningsökning i kommunen.

Aktörsscenariot (AKT) innebär att lokala aktörer genomför åtgärder enligt Uppsala klimatprotokoll (2016), ett samarbete mellan lokala företag och Uppsala kommun för att minska klimatpåverkan. Lokal potential scenariot (LP) baseras på att alla lokala företag och aktörer gör liknande åtgärder som medlemmarna i Uppsala klimatprotokoll. Total potential scenariot (MåL) baseras på en ytterligare starkare miljöpolitik på alla nivåer från EU-nivå och neråt. Vidare antas i detta scenario att medborgarna minskar sitt långväga resande, troligen till följd av trafikpolitiska åtgärder, samt energieffektiviserar ytterligare i villor.

De tre scenariona AKT, LP och MåL baseras på den högre befolkningstillväxten i modellen. Denna befolkningstillväxt kan uppfattas som något hög och avvikelser från historisk befolkningstillväxt samt konsekvenser av en minskad befolkningstillväxt behandlas vid känslighetsanalys (5.1). Nya scenarion som skapas baseras på AKT och MåL. Detta anses beskriva två möjliga vägar med en tillräcklig skillnad för att ge en uppfattning om hur stor inverkan olika sektorer och teknologier har. I AKT uppnås målen för de initiativ och arbeten som kommunen initierat angående till exempel energieffektivisering, energiomställning och förnybar elproduktion. I MåL uppnås målen för ett klimat- och energiarbete som är mer omfattande, vidare minskas användandet av flyg och annan persontransport.

De två nya scenariona kallas Bortom Aktörsscenariot (BAKT) och Bortom Total Potential scenariot (BMåL). I dessa scenarion introduceras drivmedel som tillverkas inom systemgränserna samtidigt som andra klimat- och energibesparande teknologier utforskas. Processer för denna tillverkning integreras i det existerande energisystemet. Fossila bränslen fasas ut nästan helt ut till år 2030 till förmån för främst metanol och DME. Till år 2050 sker en övergång till ett system som huvudsakligen använder vätgas som energibärare för användning i bränsleceller. I båda scenarion sker en ökande användning av elektricitet i stil med MåL.

3.2 Ändringar som påverkar alla scenarion

Följande förändringar görs i samtliga scenarion om inget annat anges.

Laddhybrider förbrukar 20 % mindre drivmedel än motsvarande konventionell förbränningsmotor, detta med stöd av en rapport av Semelsberger (2007). Detta realiserar främst genom att förbränningsmotorn kan optimeras för ett visst varvtal för att bara köras på detta varvtal till skillnad från en konventionell bil med förbränningsmotor som körs på varierande varvtal och därför endast mycket sällan har optimal verkningsgrad. En del av bilens rörelseenergi kan tas tillvara vid inbromsning vilket gör fordonet bränsleeffektivare i framförallt stadsmiljö.

Elproduktionen i fjärrvärmeverket i Boländerna sker nu som en biprodukt av värmeproduktionen, tidigare har detta reglerats i en separat modul. Vattenfall (2015) redovisar producerad el, producerad fjärrvärme och tillförd energi. Viss del av producerad el används dock för interna processer, då andelen internt använd el över tid inte redovisas antas 20 GWh per år plus 15 % av producerad el användas internt vilket ger en god anpassning till de data som presenteras i Vattenfall (2015). Nyckeltal för åren 2000-2014 ges i Tabell 8.

Tabell 8: Nyckeltal fjärrvärme

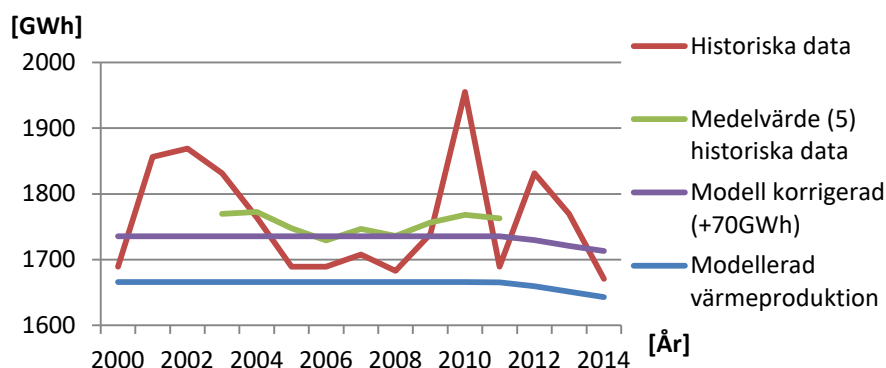
	Levererad el [%]	Totalverkningsgrad [%]
Medel	10,6	92,8
Median	10,5	93,0
Max (år)	14,8 (2003)	96,1 (2007)
Min (år)	2,9 (2007)	89,4 (2005)

Elproduktionen i modellen rundas nedåt till 10 % av all levererad energi från fjärrvärmesektorn då modellen i detta avseende ej gör skillnad på fjärrvärme i innerstaden och fjärrvärme tillverkad i övriga delar av kommunen. Vidare höjs verkningsgraden från 90,6 % till 93 % då även producerad elektricitet inkluderas i verkningsgraden.

Torvförbränningen upphör år 2020 när det nya biobränsle-eldade kraftvärmeverket Carpe Futurum ersätter det gamla kraftverket som eldas delvis med torv. Förbränningen ersätts i modellen av förbränning av trä. Elproduktionen och verkningsgrad påverkas inte av bytet. Detta sker dock inte i referensscenarion utan endast i aktörsscenario, lokal potential scenario och total potential scenario.

För **fjärrvärme** beräknas utsläppen genom en generell utsläppsfaktor på producerad värme före 2010. Från och med 2011 beräknas istället utsläppen genom att varje bränsle har en egen utsläppsfaktor. I modellen har utsläppsfaktorn för de olika bränslena inte alltid varit noll före 2011 vilket har lett till viss dubbelräkning av utsläpp, detta problem är nu åtgärdat genom att utsläppen på varje bränsle är noll före 2011. Vidare använde fjärrvärmeverket i Björklinge värme som bränsle istället för biomassa, även detta fel är åtgärdat.

Fjärrvärmeproduktionen i modellen är något lägre än historiska data från Vattenfall (2015) visar. (Figur 4)



Figur 4: Fjärrvärmeproduktion. Observera att värden i Figur 4 börjar på 1600 MWh vilket gör att skillnader i figuren kan upplevas som större än de verkligen är.

Skillnaden mellan den korrigerade värmeproduktionen och den ursprungliga simulerade uppgår till 4,2 % under det tidiga 2000-talet. För att bättre återspegla den verkliga konsumtionen läggs en kategori kallad "Unknown District Heating" under kategorin "Other Energy". Denna kategori konsumerar 70 GWh fjärrvärme per år 2010. För aktörsscenariot och total potential-scenariot antas denna kategori utvecklas likt övrig fjärrvärmekonsumtion. I aktörsscenariot och total potential minskar fjärrvärmekonsumtionen med 8,5 % respektive 20 % mellan 2010 och 2050 och denna kategori antas följa övrig utveckling i dessa scenarion. I scenariot Lokal Potential utvecklas denna kategori på samma sätt som i aktörsscenariot och i övriga scenarior antas fjärrvärmekonsumtionen vara konstant över tid.

Färjor till Estland hade tidigare sin energiintensitet angiven med enhet "kilowattimmar" istället för "ton bränsle". Detta gjorde att energiintensiteten blev nära noll, detta är åtgärdat.

Elproduktion från solceller och vindkraftverk var angiven felaktigt. Från Uppsala kommun (2014) fördes följande data enligt Tabell 9 och Tabell 10 in i modellen.

Tabell 9: Installerad effekt vindkraft [MW]

Scenario/år	2011	2013	2020	2030	2040	2050
Lokal Potential	0,425	0,425	0,425	110,5	221,0	221,0
Total Potential	0,425	0,425	0,425	132,1	264,3	264,3
Övriga	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425

Tabell 10: Installerad effekt solceller

Scenario/år	2011	2013	2020	2030	2040	2050
Aktör &						
Lokal Potential	0,15	1,1	20	100	200	300
Total Potential	0,15	1,1	20	200	400	600
Övriga	0,15	1,1	4,25	8,75	13,25	17,75

Fastighetsel i lägenheter, energiintensiteten för lägenheter byggda 2021-2030 var felaktigt inmatad i scenarierna ”aktörsscenario” och ”stark nationell politik hög” vilket ledde till att detta värde gick mot noll år 2021, dessa har nu fått samma utveckling som de lägenheter som byggs 2031-2050.

Arbetsmaskiner. Drivmedlet D50 har haft en energiintensitet som är cirka fyra gånger för hög i vissa scenarior. Då användningen av detta drivmedel i berörda scenarior har varit begränsad eller noll är påverkan på resultatet liten. Detta är nu åtgärdat.

3.3 Utveckling Drivmedel

Det nya drivmedlet M50 skapas. Denna drivmedelsblandning är lika delar volymprocent metanol och bensin. Detta är inte nödvändigtvis ett drivmedel som går att tanka men det antas vara representativt för de hybridfordon i fordonsflottan som kan köra på en blandning av metanol och bensin.

Drivmedlet DME skapas. Egenskaper för detta drivmedel hämtas från Semmelberger et al (2013). Även metanol och vätgas används som drivmedel. Egenskaper för dessa finns i LEAP som standard och dessa värden används för vidare simuleringar. För flyg och fartygstrafik skapas alternativa biobaserade bränslen. Dessa har samma egenskaper som motsvarande fossila bränslen men gör det möjligt att i LEAP-modellen enkelt identifiera hur mycket bränslen av fossilt respektive biobaserat ursprung som används.

Sammanfattning av egenskaper för dessa drivmedel i Tabell 11. Koldioxidutsläpp har allokerats lika på samtliga typer av energi vid drivmedelstillverkning av biomassa.

*Tabell 11: Emissionsfaktorer för utvalda drivmedel,
kg CO₂-ekv/kWh om inget annat anges*

Bränsle	Emissions-faktor 2010	Emissions-faktor 2050 BAKT	Emissions-faktor 2050 BMåL
M50	0,2060	0,1966	0,1913
Metanol	0,0130	0,0109	0,0034
DME	0,0135	0,0114	0,0036
Vätgas	0,0127	0,0106	0,0033
Flygbränsle* – Biobaserat (20/40 %)	1,36/0,68	1,36/0,68	1,36/0,68
Fartygsbränsle* – Biobaserat (20/40 %)	1,4/0,7	1,4/0,7	1,4/0,7
Elektricitet (importerad)	0,105	0,0105	0,0105
Elektricitet (Solcell/Vindkraft)	0,0314/0,0017	0,0314/0,0017	0,0314/0,00085
Diesel (D90)	0,281	0,241	0,2
Bensin (B95)	0,28	0,2678	0,2633

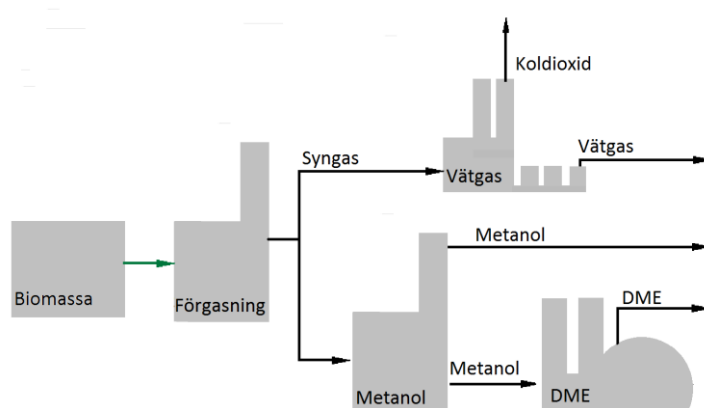
*Enhet: kg/ kg bränsle

Emissionsfaktorerna i BMåL är i många fall lägre än i BAKT, detta är en konsekvens av antaganden gjorda när scenariona AKT och MåL formades och antas spegla skillnader i klimatarbetet i de två scenariona.

Större motorvägar antas elektrifieras kring 2040 liksom kritiska vägar i stadskärnor vilket gör att tunga fordon såsom långväga lastbilstransporter, busstrafik och distributionslastbilar till viss eller stor del kan drivas på el med begränsad batterikapacitet då både batterifordon och hybridfordon kan utrustas med strömavtagare.

3.4 Utveckling förgasning

För att beskriva förgasningsprocessen i modellen har varje steg byggts upp separat (Figur 5). Detta då syntesgas skall tillverkas för att användas som bränsle i de processer som tillverkar metanol och vätgas. Förgasningsprocessen kräver en mindre mängd elektricitet, vilken produceras i de steg som tillverkar metanol och vätgas. I modellen simuleras inte denna elektricitet utan den tas upp som en förlust i de två senare stegen.



Figur 5: Illustration av förgasningsprocess med slutsteg

För att bestämma hur förgasningssteget presterar i modellen används data från Cortus (2016). Prestanda för förgasningsprocessen summeras i Tabell 12. I tabellen redovisas från vänster till höger andelar av bränsle (in), andelar av produkter (ut), verkningsgrad från bränsle till samtliga produkter (systemverkningsgrad) och verkningsgrad från biomassa till huvudprodukt.

Tabell 12: Verkningsgrad och prestanda, förgasning

In [%]	Ut [%]	Systemverkningsgrad [%]	Verkningsgrad
Fördelning	Fördelning	Energi in → Energi ut	Biomassa → syngas
Biomassa 100	Syngas 92,3 Värme 7,7	86,7	80 %

Prestanda i förgasningssteget hålls konstant under tidsperioden. Eventuella förbättringar av verkningsgrad och dylikt görs i senare produktionssteg.

3.5 Utveckling metanolproduktion

Enligt Pinto (2009) tillverkas metanol av koloxid, koldioxid och vätgas och används som råvara inom kemiindustrin där den tillverkas i stora mängder. Ekvation 17 och 18 visar hur detta går till.



Metanolproduktion är en viktig del av många kemiska processer och företag är därför restriktiva med att lämna ut data om sina processer. För beräkningar angående prestanda hos ett steg som producerar metanol används därför Morandin (2015). I rapporten presenteras data för tre processer som tillverkar metanol av biomassa. Ett medelvärde av dessa presenteras i

Tabell 13.

Tabell 13: Prestanda biomassa till metanol

In [%]	Ut [%]	Systemverkningsgrad [%]	Verkningsgrad [%]
Fördelning	Fördelning	Energi in → Energi ut	Biomassa → Metanol
Syngas 100	Metanol 69 Värme 29 El 2	80,2	55,2

Då metanoltillverkningen skall simuleras i ett separat steg måste verkningsgrad och komposition av produkter justeras för att spegla tillverkningssteget från syntesgas till metanol. Detta görs numeriskt och redovisas i Tabell 14

Tabell 14: Prestanda syntesgas till metanol

In [%]	Ut [%]	Systemverkningsgrad [%]	Verkningsgrad [%]
Fördelning	Fördelning	Energi in → Energi ut	Biomassa → Metanol
Syngas 100	Metanol 75,16 Värme 22,66 El 2,18	92,51	55,2

Resultaten i

Tabell 13 och Tabell 14 har verifierats av Fillipi (2016) som rimliga för en kommersiell metanolproduktion av denna storlek och typ.

3.6 Utveckling DME-produktion

DME produceras från metanol i en relativt enkel process med vatten som biprodukt enligt Pinto (2009). Se formel 19.



Denna process ger enligt Landälv (2016) att minst 95 % av energin i metanolen blir DME, övrig energi blir antingen restvärme eller förluster. I modellen har antagits att 96 % av energin blir DME och 2 % av energin i metanolen blir värme som får avsättning i fjärrvärmenätet. Övrig energi antas bli förluster.

3.7 Utveckling vätgasproduktion

Produktionen av vätgas sker i modellen genom att omvandla syntesgas från förgasningsprocessen och genom Steam Methane Reforming (SMR). Vid vätgasproduktion med hjälp av termisk förgasning används samma syngas rik på vätgas, koldioxid och kolmonoxid som vid metanolproduktion. Innan något av dessa steg kan utföras omvandlas den lilla mängd metan som uppstår i en väl designad process för dessa ändamål till någon av de tre andra gaserna på katalytisk väg enligt Tabell 15. Till sist avskiljs vätgas från andra gaser för att användas som drivmedel.

För att beräkna egenskaper för processen som omvandlar syntesgasen har data från Cortus (2016) använts. I Ptasiński (2009) har processer som denna idag en verkningsgrad på upp till cirka 66 % räknat på värmevärde i biomassa till värmevärde i vätgas. I modellen presterar därför denna process enligt de värden som Ptasiński (2009) anger fram till år 2030 för att sedan öka linjärt till de värden som Cortus (2016) anger år 2050. Se Tabell 15. Fördelningen mellan produkterna antas vara konstant över tid.

Tabell 15: Prestanda vätgastillverkning med syngas

In [%]	Ut [%]	Systemverkningsgrad [%]	Verkningsgrad [%]
Fördelning	Fördelning	Energi in → Energi ut	Biomassa → vätgas
Syngas 100	H ₂ 94,7 Värme 5,3	89-95	64-72

I Steam Methane Reforming (SMR) omvandlas även metan i form av biogas till vätgas. Detta påbörjas efter 2030 när bussar som drivs av biogas börjar bytas ut mot bränslecellsbussar drivna av vätgas, samtidigt som biogasproduktionen ökar på grund av ökande befolkning vilket skapar ett överskott av biogas. Enligt Jechura (2015) behöver processen matas med 46,1% värme för att förse processen med ånga. Värmen i Jechuras modell kommer från en gasbrännare som är något effektivare än den biobränslepanna som används i processen i LEAP-modellen. Andelen biobränsle höjs därför till 50 % i denna process. Jechura (2015) gör gällande att en väl designad SMR-process kan ge vätgas med ett energiinhåll upp till 80 % av den energi som stoppades in i processen. Rostrup-Nielsen (2001) uppger dock att ett modernt SMR-verk av denna storleksordning kan ha en verkningsgrad upp till 94 %. Då en biobränslepanna används istället för en normal gaspanna i denna process sätts den ursprungliga verkningsgraden

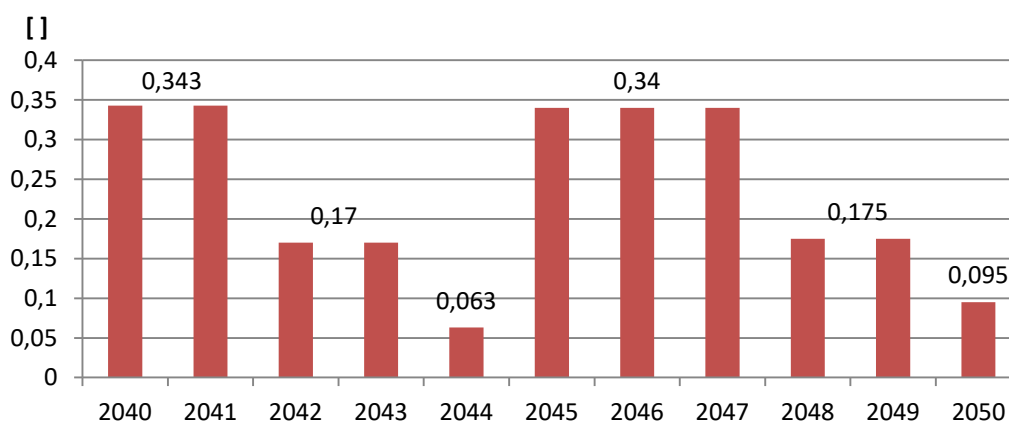
till 92 %. Verkningsgraden ökar sedan linjärt till 95 % mellan 2030 och 2050 med oförändrad bränslesammansättning.

Kapaciteten i SMR-enheten varierar något mellan de två scenarierna då den dimensioneras efter överskott av biogas som uppstår när biogasbussar byts ut mot vätgasbussar. År 2030 används all producerad biogas som drivmedel direkt i fordon, kapaciteten är således noll. Se tabell Tabell 16.

Tabell 16: Kapacitet, biogas i SMR [MW]

	2035	2040	2045	2050
BAKT	2,20	4,68	9,56	18,19
BMåL	3,62	7,34	13,09	18,19

Några år leder detta till viss överkapacitet i processen i BMåL-scenariot. I modellen löses detta genom att en andel vätgas förbränns och blir värme med den totalverkningsgrad som processen har det året. Detta gör att energin tas tillvara inom systemet och ger således en relativt god bild av miljöpåverkan från denna process då förbränd vätgas ersätter fjärrvärme. I ett verkligt system bör sådan gas i största möjliga utsträckning exporteras ut ur systemet för en användning som drivmedel eller inom industri. Se Figur 6 för andel förbränd vätgas i SMR-processen



Figur 6: Andel förbränd vätgas från SMR i BMåL till följd av överproduktion

Innan 2040 finns ingen överkapacitet i något scenario. I Figur 6 kan ses att överproduktionen uppstår när biokolsproduktionen i Uppsala som producerar vätgas byggs ut år 2040 och år 2045 beskrivet i kapitel 3.8.16.

3.8 Utveckling av fordonsparken

Uppsala kommun har tagit beslut om att verka för en fossilfri kommun till år 2030. Vidare har trafikverket (2016) valt att tolka begreppet fossiloberoende som att fordonsflottan skall drivas på max 20 % fossila bränslen. I detta arbete har därför transportsektorns sammansättning utformats så att den drivs på cirka 20 % fossil energi

år 2030. Till år 2050 har sammansättningen utformats så att samtliga fordon till största del drivs av antingen elektricitet eller bränsleceller med biodrivmedel samt en mindre andel förnybara bränslen i förbränningsmotorer. I vissa fall, såsom flygsektorn, behålls även en mindre andel fossila bränslen till år 2050 där det idag inte verkar rimligt att en teknik för att ersätta all dagens bränsle kommersialiseras de närmaste 30 åren. Även biomassabehovet sätter begränsningar för hur stor andel av konventionellt flygbränsle som kan ersättas med biobaserade alternativ, se kapitel 3.8.8 och 4.3.

Utvecklingen och årtalen 2030 och 2050 bör inte ses som en prediktion eller trolig utveckling. Till 2030 bör utvecklingen snarare ses som en måttstock på hur lång tid det finns kvar för att uppnå resultat av tagna beslut samt vad konsekvenserna av dessa beslut är jämfört tidigare simulerade scenarior. Simuleringarna till år 2050 ger ett mått på hur låga utsläpp som rimligen kan uppnås med den teknologi som kan antas kommersialiseras de närmaste decennierna. Utvecklingen av transportsektorns sammansättning antas fortsätta som i de respektive scenariorna till år 2018 för att sedan linjärt övergå mot de storheter som finns listade i Tabell 17 till Tabell 29. Bensin 95 och diesel 90 ersätts likt grundscenariorna 2030 av bensin 90 och diesel 80. Högre andelar av förnybar inblandning övervägdes men kring 2030 är användningen av dessa bränslen så låg att det ansågs komplicera modellen utan att påverka resultatet nämnvärt.

Om inget annat anges under respektive kategori antas metanoldrivna fordon ha en energiintensitet som motsvarar ett liknande etanolfordon. DME-fordon antas ha en energiintensitet liknande motsvarande dieselfordon. Bränsleceller med metanol och DME antas ha en energiintensitet som är 65 % av motsvarande fordon med förbränningsmotor enligt Semelsberger et al (2006). Bränsleceller med vätgas antas ha en energiintensitet 10 % högre än motsvarande elfordon.

För lättare fordon antas hälften av laddhybridernas sträcka avverkas med el som bränsle och hälften med en alternativ energibärare. För tyngre laddhybridsfordon antas en fjärdedel av sträckan avverkas med el. Denna distinktion görs eftersom att lättare bilar generellt står still en stor del av tiden och de flesta resor är relativt korta. Fordonen kan då enkelt laddas när infrastruktur för detta byggts ut och relativt små batterier kan täcka en stor del av sträckan. Tyngre fordon körs i allmänhet betydligt större andel av tiden och fordonens tyngd gör att batterier ger en mycket begränsad körsträcka. Elektrifierade huvudvägar gör att dessa fordon i genomsnitt kan utnyttja en relativt stor andel trots detta. Detta gäller speciellt för stadsbussar där bussar som använder enbart el som drivmedel antas öka till 80 % av körd sträcka till år 2050 och där laddhybridernas utnyttjanden av el ökar linjärt från 25 % till 50 % mellan år 2030 och år 2050.

Biogas används i kommunen idag i princip uteslutande i stadsbussar. Stadsbussarna elektrifieras under perioden till stor del samtidigt som biogas byts ut mot vätgas då bussar bedöms ha relativt goda förutsättningar för detta. Se rubrik 3.7.

3.8.1 Persontransport bil

Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 17. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde personbilar 31 % av energin i transportsektorn.

Tabell 17: Persontransport bil, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	94	15	8	0
Biodrivmedel	6	46	43	40
El	0	39	50	60
Andel laddhybrider	0	57	64	80
Andel batterifordon	0	10	18	20
Andel bränslecellsfordon	0	4	34	64

Den övre halvan av Tabell 17 avser drivmedel. Ett fordon som drivs av bensin med 10 % låginblandat bränsle räknas som 90 % fossil och 10 % förnybart biodrivmedel. Dessa tal beskriver hur stor del av sträckan som körs på respektive bränsle. Då fordon som använder fossila bränslen i genomsnitt har sämre verkningsgrad än fordon med alternativa bränslen som har bränsleceller, elmotor eller en större andel laddhybrider är effektivare speglar dessa siffror inte hur stor del av arbetet som utförs av respektive bränsle.

Den nedre delen av Tabell 17 beskriver hur drivlinan på respektive fordon ser ut. Dessa rader summeras inte till 100 % då ett fordon med endast förbränningsmotor faller utanför alla tre kategorier och ett fordon med bränslecell som är en laddhybrid faller inom två kategorier. Batterifordon avser fordon med endast batterier för energilagring, således helt eldrivna bilar. Fordon med förbränningsmotorer faller utanför de två sista kategorierna i Tabell 17, andelen bilar med förbränningsmotorer kan således fås genom att dra bort dessa två kategorier från hela fordonsflottan. Samtliga bränslecellsfordon i modellen är också laddhybrider.

3.8.2 Stadsbussar

Stadsbussar innebär ett tillfälle att gå före i utvecklingen då relativt mycket trafik trafikerar en relativt liten yta och det offentliga har rådighet över hur detta upphandlas. Distribution av förnybara drivmedel byggs ut tidigt och kan sammanvändas med andra tyngre fordon i stadsmiljö såsom distributionslastbilar. För stadsbussar antas andelen eldrift hos laddhybrider öka linjärt från 25 % till 50 % mellan åren 2030 och 2050 på grund av en bättre utbyggd infrastruktur för eldrift, främst i form av elektrifierade huvudleder som börjar byggas ut mellan 2020 och 2030. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 18. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde stadsbussar 2,1 % av energin i transportsektorn.

Tabell 18: Stadsbussar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	59	0	0	0
Biodrivmedel	41	52,5	31,25	10
El	0	47,5	68,75	90
Andel laddhybrider	0	100	60	20
Andel batterifordon	0	30	55	80
Andel bränslecellsfordon	0	0	10	20

I modellen byts dagens biogasbussar ut mot energieffektivare laddhybridbussar drivna på biogas. Ur ett systemperspektiv är det önskvärt att sedan byta ut dessa bussar mot bränslecellsbusar drivna med vätgas när tekniken för distribution för denna finns. I modellen är energiintensiteten för biogasladdhybrider 2,56-3,96 kWh/km medan en vätgasbuss har energiintensiteten 1,68-1,88 kWh/km beroende på scenario och år. Uträkning nedan ger hur stor andel av energin som krävs för vätgasdrivna bussar jämfört med laddhybrid-biogasbussar för bästa och sämsta tänkbara fall.

$$\frac{\text{Energiintensitet}_{\text{vätgas}_{\text{sämst}}}}{\eta_{\text{omvandling Biogas} \rightarrow \text{vätgas}_{\text{sämst}}}} / \text{Energiintensitet}_{\text{biogas}_{\text{bäst}}} = \frac{1,88}{0,92} / 2,56 = 0,798$$

$$\frac{\text{Energiintensitet}_{\text{vätgas}_{\text{bäst}}}}{\eta_{\text{omvandling Biogas} \rightarrow \text{vätgas}_{\text{bäst}}}} / \text{Energiintensitet}_{\text{biogas}_{\text{sämst}}} = \frac{1,68}{0,95} / 3,96 = 0,447$$

Ett byte från biogas till vätgas i stadsbussar ger således en energieffektivisering i intervallet 20-55,3 %.

3.8.3 Regionbussar

Regionbussar kan liksom stadsbussar gå före i utvecklingen av liknande anledningar men är något mer problematiskt att förändra då trafikarbetet är utspritt på ett större geografiskt område. Detta gör att en mindre andel av trafikarbetet utförs med el som energibärare. I scenariot BMÅL används en något högre andel DME och lägre andel biogas då det ökade trafikarbetet av bussar gör att biogasen inte räcker till att täcka lika stor andel av regiontrafiken. Detta påverkar dock inte nyckeltalen nedan. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 19. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde regionbussar 3,0 % av energin i transportsektorn.

Tabell 19: Regionbussar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	90	0	0	0
Biodrivmedel	10	100	100	100
El	0	0	0	0
Andel laddhybrider	0	100	100	100
Andel batterifordon	0	0	0	0
Andel bränslecellsfordon	0	0	75	100

3.8.4 Motorcyklar

Då det i modellen saknas etanolmotorcyklar antas dessa ha en energiförbrukning som liknar bensinmotorcyklar. Vidare antas en elmotorcykel använda hälften av den energi som en elbil använder. Detta är approximationer som anses ha liten inverkan på resultatet då motorcykeltrafiken står för en liten del av det totala trafikarbetet. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 20. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 stod motorcykeltrafik för 0,17 % av energin som användes i transportsektorn.

Tabell 20: Motorcyklar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	95	48	26	5
Biodrivmedel	5	38	44	50
El	0	15	30	45
Andel laddhybrider	0	0	0	0
Andel batterifordon	0	15	30	45
Andel bränslecellsfordon	0	0	18	35

3.8.5 Lätta lastbilar

Lätta lastbilar används främst i yrkestrafik för att leverera varor den sista biten fram till konsumenten. En hög genomsnittsanvändning av fordonet och oregelbundna rutter gör att lätta lastbilar endast kan utnyttja infrastruktur för el i en begränsad omfattning. Väl riktade styrmedel kan dock göra att branschen är relativt snabb att ta till sig nya bränslen och ny teknik då omsättningstiden på fordon är betydligt kortare än för privata fordon. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 21. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde lätta lastbilar 3,9 % av energin i transportsektorn.

Tabell 21: Lätta lastbilar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	91	17	9	0
Biodrivmedel	9	62	61	60
El	0	21	31	40
Andel laddhybrider	0	45	63	80
Andel batterifordon	0	10	15	20
Andel bränslecellsfordon	0	0	40	80

3.8.6 Fjärrlastbilar

Större motorvägar börjar elektrifieras mellan 2030 och 2040 vilket gör att en andel tunga lastbilar kan använda elektricitet. En lastbil med bränsleceller som använder DME som bränsle antas använda 65 % av bränslet 2030 som en dieselmotor använder vid samma tidpunkt för att öka linjärt till 75 % år 2050, detta för att DME-bränslecellen bör vara mindre energieffektiv än en vätgasdriven bränslecell. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 22. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde fjärrlastbilar 2,4 % av energin i transportsektorn.

Tabell 22: Fjärrlastbilar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	90	16	8	0
Biodrivmedel	10	84	68	53
El	0	0	24	48
Andel laddhybrider	0	0	35	70
Andel batterifordon	0	0	15	30
Andel bränslecellsfordon	0	0	35	70

3.8.7 Distributionslastbilar

En stor del av distributionslastbilarna har möjlighet att utnyttja det nät som byggs ut för stadsbusstrafik varför en betydande andel använder el som energibärare. Övriga fordon ställer om relativt snabbt till förnybara drivmedel då de främst verkar inom kommunen och således kan utnyttja de goda möjligheter till tankning av förnybara bränslen som finns inom området. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 23. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A. År 2010 använde distributionslastbilar 2,4 % av energin i transportsektorn.

Tabell 23: Distributionslastbilar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	90	4	2	0
Biodrivmedel	10	54	49	45
El	0	43	49	55
Andel laddhybrider	0	50	55	60
Andel batterifordon	0	30	35	40
Andel bränslecellsfordon	0	0	28	55

3.8.8 Flyg

Två typer av biobränslen börjar blandas in i flygbränslet. Dessa är identiska med det fossila bränslet med avseende på egenskaper och energiintensitet förutom att de har en klimatpåverkan som är 40 % respektive 20 % av det fossila bränslet. Antaganden för bränslesammansättningen baseras på geografisk destination oavsett typ av flygresor. År 2010 använde flyg 38 % av energin i transportsektorn varav utlandsresor för semesterändamål stod för 29 procentenheter. Cirka en tredjedel av energin i dessa resor användes till destinationer i Europa. Fördelningen av drivmedel i flygsektorn kan ses i Tabell 24 till Tabell 26.

Tabell 24: Flyg inrikes, drivmedelssammansättning. Procent av fordonsparken

Flyg Inrikes	2010	2030	2040	2050
Konventionellt drivmedel	100	60	45	30
Biodrivmedel (40 % GWP)	0	40	40	40
Biodrivmedel (20 % GWP)	0	0	15	30
Andel förnybart	0	40	55	70

Tabell 25: Flyg Europa, drivmedelssammansättning. Procent av fordonsparken

Flyg Europa	2010	2030	2040	2050
Konventionellt drivmedel	100	70	55	40
Biodrivmedel (40 % GWP)	0	30	30	30
Biodrivmedel (20 % GWP)	0	0	15	30
Andel förnybart	0	30	45	60

Tabell 26: Flyg övrigt, drivmedelssammansättning. Procent av fordonsparken

Flyg Övrigt	2010	2030	2040	2050
Konventionellt drivmedel	100	80	65	50
Biodrivmedel (40 % GWP)	0	20	23	25
Biodrivmedel (20 % GWP)	0	0	13	25
Andel förnybart	0	20	35	50

3.8.9 Färjor

Fartygstrafik avser färjor till Åland, Gotland, Finland och Baltikum. Dessa antas ha samma bränslesammansättning. Likt flygtrafik har biobränslen 40 % respektive 20 % klimatpåverkan av motsvarande fossilt baserat bränsle. År 2010 använde färjor 0,4 % av energin i transportsektorn. Fördelningen av drivmedel bland färjor kan ses i Tabell 27.

Tabell 27: Färjor, drivmedelssammansättning. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Konventionellt drivmedel	100	70	50	30
Biodrivmedel (40 % GWP)	0	30	35	40
Biodrivmedel (20 % GWP)	0	0	15	30
Andel förnybart	0	30	50	70

3.8.10 Bil och buss – Långdistansresor

Bilar för långdistansresande antas ha samma utveckling som övriga bilar för persontrafik. Långdistansbussar antas ha samma utveckling avseende bränslen som fjärrlastbilar förutom att den lilla andelen bensin i fjärrlastbilar ersätts med diesel för långdistansbussar. Bussar som drivs med förbränningsmotorer och har DME som bränsle antas ha samma energiintensitet som långdistansbussar drivna av biodiesel. En eldriven långdistansbuss antas ha samma energiintensitet som en fjärrlastbil. Övriga antaganden är samma som för fjärrlastbilar, detta gör att fjärrbussar drivna av el och vätgas blir något effektivare än en som drivs med bränsleceller som använder DME. År 2010 använde långdistansresor med bil och buss 9,4 % av den totala energin i transportsektorn varav inrikes biltrafik stod för 6,7 procentenheter.

3.8.11 Husbilar

Eldrivna husbilar antas ha en energiintensitet som är 2/3 av den energieffektivaste bränslecellen som inte är vätgasdriven och likt övriga transportslag förändras inte denna över perioden. Övriga antagen följer de som anges som standard. År 2010 använde husbilar 0,5 % av den totala energin i transportsektorn varav cirka 4/5 utomlands. Värden för 2010 avser både inrikes och utrikes transport. I LEAP-modellen är alla utrikes husbilar dieseldrivna detta år. Inrikes drivs husbilar på hälften diesel och hälften bensin. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 28. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A.

Tabell 28: Husbilar, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	91	47	23	0
Biodrivmedel	9	54	67	80
El	0	0	10	20
Andel laddhybrider	0	0	40	80
Andel batterifordon	0	0	0	0
Andel bränslecellsfordon	0	0	40	80

3.8.12 Maskiner

Maskiner avser arbetsmaskiner i kategorierna entreprenad (41 %), jordbruk (24 %), övrigt (10 %), skogsbruk (13 %) och hushåll (12 %) där siffran efter respektive kategori avser hur stor andel av den totala energin som används inom maskiner som används i kategorin. En bränslecell som använder DME antas ha en energiintensitet som är 65 % av motsvarande bil med ren förbränningsmotor och en eldriven maskin antas ha en energiintensitet som är 2/3 av en DME-bränslecell. Alla typer av maskiner antas ha samma bränslesammansättning. År 2010 använde arbetsmaskiner 7,7 % av energin i transportsektorn. Nyckeltal för sammansättningen av fordonsflottan kan ses i Tabell 29. Fullständig sammansättning kan ses i Appendix A.

Tabell 29: Arbetsmaskiner, nyckeltal. Procent av fordonsparken

Nyckeltal/år	2010	2030	2040	2050
Fossilt	90	8	4	0
Biodrivmedel	10	92	85	78
El	0	0	11	23
Andel laddhybrider	0	0	45	90
Andel batterifordon	0	0	0	0
Andel bränslecellsfordon	0	0	45	90

3.8.13 Utveckling av fjärrvärme

Enligt Uppsala kommun (2014) avvecklas avfallsförbränningsanläggningarna block 1, 3 och 4 år 2030. Dessa block står tillsammans för hälften av avfallsförbränningen enligt Jung (2010) vilket leder till att avfall som bränsle minskar till hälften, från 56 % till 27 % av bränslemängden. Enligt Jung (2010) är endast cirka 3 % av levererad energi från avfallsförbränningen el. För att ersätta den effekt som uteblir byggs ännu en kraftvärmepanna vilket ökar andelen el från 10 % till 15 % av levererad energi från Boländerna.

Enligt Uppsala kommun (2014) löper livslängden ut för avfallsförbränningen i block 5 år 2040. Då övriga block förutsätts vara i drift cirka 50 år (byggår 1983, 1972 resp. 1982) är det föga troligt att block 5 läggs ner efter 35 år då det innebär en betydande

investering att bygga en avfallsförbränningsanläggning. Block 5 förutsätts därför byggas om till att hantera en bränsleblandning om i genomsnitt 2/3 avfall och 1/3 trädbränslen, i modellen trä. Under denna ombyggnad ökas andelen producerad el från 15 % till 17 % av levererad energi. Detta betyder att år 2040 är det 1/3 så mycket avfall i bränslemixen som det var år 2029. Minskningen av andelen avfallsförbränning förutsätts ske genom minskad import av avfall och en högre återvinningsgrad.

Verkningsgraden för kraftvärmeanläggningen i Boländerna ökas från 93 % till 95 % år 2030 och 96 % 2040 till följd av att avfallsförbränning ersätts med trädbränslen som är ett bränsle som är mer homogent och mindre komplicerat. Samma justeringar görs för fjärrkyla och ånga, effektiviteten höjs med två procentenheter och hälften av avfallsförbränningen ersätts med trädbränslen år 2030. I kapitel 4.4 kan ses att restvärmen från biodrivmedelstillverkning är relativt begränsad. Påverkan på fjärrvärmesystemet är därför relativt liten och omfattningen av framtidens fjärrvärmesystem är endast något mindre än idag.

Biomassauttaget ökar i de båda scenariorna. Till följd av detta bör användning av jord- och skogsbruksmaskiner, lastbilar för transport och landanvändning öka. I Tabell 30 kan ses hur stor andel dessa poster har i respektive scenario.

Tabell 30: Del av utsläpp av växthusgaser och energianvändning av biomassarelaterade delsektorer

Utsläpp [%]/ Energianvändning [%]	Aktör				Total potential			
	2030		2050		2030		2050	
Långfärdslastbilar	1,35	3,97	0,68	3,39	1,18	3,45	0,24	2,57
Jord- och skogsbruksmaskiner	2,58	1,68	3,20	1,98	1,40	1,33	1,78	1,63
Landanvändning jordbruk	6,91	-	6,65	-	9,47	-	20,16	-

I uträkning i Appendix C beräknas att bidraget från biomassa endast skulle öka omfattningen av lastbilar med cirka 1,5 %, denna ökning försummas således då den inte påverkar resultatet i någon större utsträckning. Byfors (2014) uppskattar att cirka 10 % av den odlingsbara marken ligger i träda och att detta står för mer än hälften av den mark som förväntas tas i anspråk för det utökade bioenergiuttaget. Detta förväntas ha en mindre påverkan på slutresultatet och kan således inte försummas helt. En faktor läggs därför på utsläppen från markanvändning som ökar linjärt från 0 % till 15 % mellan 2018 och 2030 för att sedan fortsätta vara 15 % resten av perioden. Jord- och skogsbruksmaskiner kan förväntas öka i liknande takt som markanvändningen. Denna ökning försummas då den har en liten inverkan på slutresultatet.

3.8.14 Utveckling Biogasproduktion

Biogas tillverkas i kommunens regi genom rötning av avloppsslam på reningsverket Kungsängsverket (2015) och genom rötning av organiskt avfall såsom matavfall, slakterirester och jordbruksrester på kungsängens gård. Tillverkad biogas respektive hur mycket av denna som användes som fordonsgas 2014 redovisas i Tabell 31.

Tabell 31: Biogasproduktion

	Biogas [tusen Nm ³]	Fordonsgas [tusen Nm ³]
Kungsängsverket	1954	1297
Kungsängens gård	4700	3995

Befolkningstillväxten i modellen är betydande. För att ta hänsyn till detta när framtida produktion skall uppskattas görs följande antaganden:

1. Produktionen från Kungsängsverket ökar direkt proportionellt mot befolkningstillväxten under hela perioden. Detta gäller även produktionen från Kungsängens gård fram till 2030. Detta antagande görs då mängden avloppsslam och annat organiskt avfall bör vara proportionell mot antalet människor som verkar i upptagningsområdet.
2. Efter 2030 ökar produktionen på Kungsängens gård proportionellt mot halva befolkningstillväxten. Detta antagande görs då en del av råvarorna till Kungsängens gård är kopplade till framförallt jordbruk och utvecklingen av detta avfall förväntas nå en viss mättnadsgrad då konkurrensen om markanvändning ökar till följd av ökat biomassauttag.
3. Produktionen från Kungsängsverket ökar med ytterligare 30 % mellan 2020 och 2030 till följd av tekniska förbättringar. Detta är möjligt enligt Paulsson (2016) genom att byta ut det biologiska reningssteget i kraftverket mot ett rötningsteg som producerar biogas.
4. En ökning av andelen biogas som används till fordon har observerats i en rapport från Uppsala vatten (2015). För att ta med detta i beräkningarna används ett medelvärde av producerad biogas, det vill säga icke-uppgraderad gas, och fordonsgas för 2014 års värden.

Ovanstående antaganden leder till en produktion enligt Tabell 32.

Tabell 32: Biogasproduktion i LEAP-modellen

	2014	2020	2030	2040	2050
Kungsängsverket [MNm ³]	1,63	1,81	2,74	3,07	3,40
Kungsängens gård [MNm ³]	4,35	4,83	5,64	5,58	5,63
Tot [MNm ³]	5,97	6,64	8,38	8,65	9,03
Tot [GWh]	57,94	64,40	81,31	83,90	87,60
Normerad produktion [%]	100	111,1	140,3	144,8	151,1

I modellen ökar befolkningen och således behovet av många energitjänster med 60 % mellan 2014 och 2050. I tabellen ovan ökar biogasproduktionen under samma period med 51 %. Värmevärdet för fordonsgasen (9,7 kWh/ Nm³) hämtas från Uppsala vatten (2015). Den uppskattning som kan ses Tabell 32 är enkel och har stor osäkerhet, därför används en något lägre produktion av biogas i modellen för att inte överskatta resursen. Den totala produktionen i modellen stiger snabbt till 75,14 GWh år 2030 för att sedan öka till 79,3 GWh år 2050. Biogas används i modellen till stadsbusstrafik och en mindre andel av regionbusstrafiken. När dessa bussar börjar fasas ut efter 2030 till förmån för bussar drivna av el och vätgas omvandlas överbliven biogas till vätgas. Se 3.7. Analysen ovan grundar sig på biomassaproduktionen under ett enskilt år då statistik över längre tidsperioder inte funnits att tillgå. Råvara för processen är restprodukter vid produktion och konsumtion av mat och primärt användningsområde för biogasen är bussar. Dessa aktiviteter är relativt okänsliga för omvärldsförändringar och tillfälliga upp och nedgångar i produktion antas därför vara små. Biogas står endast för en mycket liten del av biomassatillförseln i systemet, se avsnitt 4.

3.8.15 Utveckling Avloppsrening och mikroalger

År 2035 byggs en anläggning för mikroalgsproduktion i demonstrationsskala, år 2040 byggs anläggningen i full skala och 2045 höjs mikroalgsproduktionen med 25 %. Detta motsvarar en höjning från den lägre algtillväxten i 2.5 till den högre men kan också bero på ökat flöde av avloppsvatten till följd av ökad befolkning. Utveckling av mikroalgsproduktion redovisas i

Tabell 33. Observera att denna produktion är något lägre än i avsnitt 2.5 då anläggningen inte kan förväntas gå på full effekt hela året.

Tabell 33: Omfattning av mikroalgsproduktion

År	2035	2040	2045
Genomsnittlig effekt [MW]	0,36	3,6	5,4
Årlig energiproduktion [GWh]	3,1	31,5	47,3

3.8.16 Utveckling Biokol

I Bälinge, Vänge och Björklinge som idag har fjärrvärmenät som drivs av Bionär är det inte lämpligt att tillverka drivmedel då dessa områden är alltför små (cirka 0,3 MW värme) för att uppnå de stordriftsfördelar som krävs för att avancerade processer ska ha utsikt att bli lönsamma. Tillverkning av biokol i denna storleksordning är dock undersökt av Gustafsson (2013) som uppger att de undersökta processerna hade en totalverkningsgrad om 90 % och ger 1/3 syntesgas/bioolja som kan omvandlas till värme och 2/3 biokol med avseende på energiinnehåll. De tre fjärrvärmeverken som drivs av Bionär ersätts i modellen av ett verk år 2025 med samma totala effekt, 0,83 MW, som körs året om. En totalverkningsgrad om 92 % och 1/3 av produkterna som värme modelleras som ett kraftverk med en kapacitet om 2,52 MW biomassa och en

verkningsgrad på 30 % som bara levererar värme. Då biokolet inte används för energiändamål simuleras detta inte i modellen. De minskade utsläpp som kolet ger upphov till tas dock upp som negativa icke energirelaterade utsläpp. Observera att det i praktiken är ett kraftverk på vart och ett av de tre orterna, i modellen simuleras de dock som ett eftersom att de är mycket lika. Under året produceras 16 GWh kol vilket med Gustafssons värmevärde (35 MJ/kg) ger 1645,7 ton kol. Då Gustafsson (2014) uppger att ett kilo rent kol motsvarar 3,7 ton koldioxid ger detta en kolsänka på 6038,4 ton koldioxid per år med hänsyn taget till att 8,33 promille av kolet omvandlas till CO₂ på 100 år vid en halveringstid på 6000 år.

För att produktionen av mikroalger skall ge optimal avkastning berikas dessa med koldioxid. En anläggning för biokolsproduktion upprättas i anslutning till produktion av mikroalgerna. För att tillgodose behovet av koldioxid till mikroalgsproduktionen dimensioneras biokolsanläggningen till att elda biobränsle med en effekt på 25,4 MW år 2040 när den fullskaliga anläggningen startas . Av utgående energi avskiljs 53 % som vätgas och resten förbränns och matas in i fjärrvärmenätet. Anläggningen är mer avancerad och kräver avskiljning av gaser. Den första försöksanläggningen byggs 2035 och har likt algodlingen en tiondel av kapaciteten, denna första anläggning antas ha en verkningsgrad om 25 %, efter 2030 antas effektiviteten vara 30 % på grund av teknisk utveckling. Likt algodlingen ökas kapaciteten med 25 % år 2045 till 31,75 MW biomassa.

För att uppskatta den minskade miljöbelastning som biokolet medför antas att all biokol används som jordförbättrare. Enligt Byfors (2014) finns cirka 25 000 hektar åkermark i Uppsala län som kan odlas. Hur mycket av denna som kan öka skörden med en tillsats av biokol kräver en egen undersökning. I Tabell 34 kan ses hur mycket biokol som tillverkas respektive år. 2025 kommer allt biokol från de kraftverk som ersätter Bionärs gamla verk, 2035 byggs anläggningen för tillverkning av biokol och vätgas i samband med produktionen av mikroalger och 2045 utökas de sistnämnda. Den kolsänka som uppstår läggs in i LEAP under kategorin ”non energy”.

Tabell 34: Biokolsproduktion i LEAP-modellen

	År 2025	År 2035	År 2045
Årlig biokolsproduktion [ton]	1476	14098	17253
Antal hektar vid 10 ton/ha	150	1410	1725
Andel av länets åkermark varje år vid 10 ton/ha	0,60 %	5,65 %	6,90 %
Kolsänka [ton CO ₂ -ekv]	5462	52161	63835

3.8.17 Övrig utveckling, bortom konventionella scenarion

Övrig utveckling i LEAP-modellen sker enligt de respektive scenarior som de är baserade på, med undantaget att oljeeldning i fasta installationer inom områdena ”stationär energi” och ”jordbruk” ersätts av biomassa respektive pellets på samma sätt

som i scenariot ”total potential” till år 2030 istället för år 2050 på grund av de höga politiska ambitioner som nu råder angående att minska användandet av fossila bränslen.

3.9 Tidsplan

Nedan följer en kort tidsplan som beskriver de viktigaste händelserna i scenariorna. För att ge en uppfattning om storleken på processerna anges medeleffekt av biomassa på formen: BAKT(BM&L) MW.

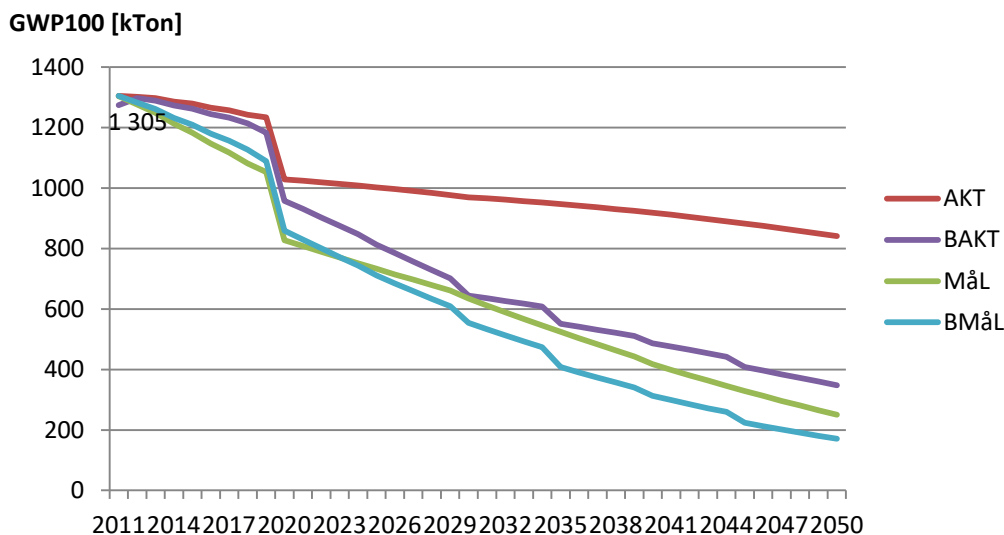
- 2018: En anläggning i demonstrationsskala, 22(22) MW, för att göra metanol. Ett mindre slutsteg för framställning av vätgas förläggs till samma plats. En anläggning för att göra DME av delar av metanolen byggs troligen på samma plats för att hålla nere hanteringskostnader.
- 2019: Inblandning av förnybart bränsle i flygplan påbörjas i mindre skala. Inblandning i färjebränsle sker parallellt. Detta har dock mindre effekter och uppgår som mest till 1,4(1,4) MW biomassa i en fabrik med 70 % verkningsgrad från biomassa till bränsle.
- 2020: Torvförbränningen ersätts med eldning av biomassa. Ökar biomassakonsumtionen med cirka 51(51) MW.
- 2020: Huvudleder i och kring Uppsala stad börjar elektrifieras för tyngre trafik såsom bussar och distributionslastbilar. Infrastrukturen för laddning av personbilar kan nu beskrivas som väl utbyggd och utgör således inget hinder för personer med elbil.
- 2025 (Cirka): En större fabrik om cirka 210(210) MW biomassa byggs. Denna enhet producerar cirka 500 ton metanol om dagen och har kapacitet att förse hela länet med metanol. Fabriken bör lokaliseras norr om staden då Stockholmsregionen förutsätts göra en liknande omställning av sitt energisystem vilket bör leda till en stor brist på biomassa i områden söder om kommunen.
- 2025 (Cirka): Försök med biokolstillverkning inleds i Vänge, Björklinge och Bälinge. På sikt ersätter restvärmen från dessa processer fjärrvärmepannorna på orterna. Maximalt total biomassakonsumtion cirka 2,5(2,5) MW.
- 2030: Huvudleder för tung transport över längre sträckor börjar elektrifieras.
- 2030: Avfallsförbränning i block 1, 3 och 4 upphör när dessa enheter tjänat ut sin livslängd. Detta innebär att när avfallsförbränningen halveras från 53 % av den totala bränslemängden, ökar biomassakonsumtionen med cirka 48(48) MW.
- 2030: Biogasproduktionen uppgår till 8,6 MW

- 2034: Inblandningen av förnybart jetbränsle uppgår till 69(53) MW. Detta är det maximala värdet i BMÅL då mängden drivmedel sedan minskar, främst till följd av minskat resande. I BAKT fortsätter behovet av drivmedel att öka.
- 2035: Till följd av en ökad användning av bränsleceller byggs en SMR-anläggning för att omvandla biogas till vätgas. Effektiv distribution av vätgas, troligen ett rörledningsnät, byggs nu ut i stor skala.
- 2035-2045: Avloppsrening med ökad produktion av biogas, produktion av cirka 5,4 MW mikroalger och 31 MW biokolsproduktion med vätgas och värme som biprodukt inleds på försök 2035 och byggs ut i två steg till 2045. Detta kräver en flytt av det nuvarande reningsverket då produktion av mikroalger och biokol inte får plats på eller kring den aktuella tomten.
- 2040: Avfallsförbränningen minskas till 18 % av den totala bränslemixen genom en ombyggnation av avfallsförbränningen i block 5. Detta ökar biomassabehovet med 11 MW.
- 2050: Inblandningen av förnybart jetbränsle uppgår nu till 111(35) MW.
- 2050: Biogasproduktionen uppgår till 9 MW

4. Resultat

4.1 Klimatpåverkan

I Figur 7 kan totala koldioxidutsläpp för fyra scenarion ses.



Figur 7: Total klimatpåverkan

Största skillnaden i klimatpåverkan mellan BAKT och BMål finns inom flygsektorn och beror till största delen på minskad omfattning av flygandet i BMål, skillnaden på grund av detta uppgår till cirka 140 kTon per år. Energieffektiviseringar hos hushåll gör att utsläpp från fjärrvärmeproduktion minskar med cirka 26 kTon mer år 2050 i BMål. I modellen minskar utsläppsfaktorn för importerad el med en faktor tio under perioden vilket gör att minskad elanvändning i BMål och ökad elproduktion inte påverkar utsläppen i någon större utsträckning.

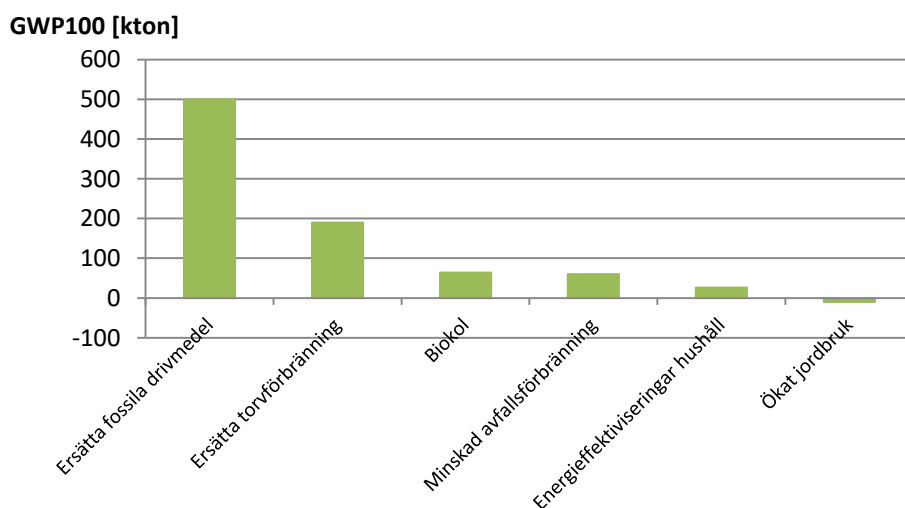
Den enskilt största minskningen sker år 2020 då torveldning i värmeverket ersätts med biomassa vilket resulterar i en årlig besparing på cirka 190 Kton koldioxidekvivalenter. Effekten av att ersätta fossila drivmedel med förnybara biobaserade drivmedel kan delvis ses i skillnaden mellan AKT och BAKT. Den totala skillnaden mellan dessa scenarion är cirka 470 kton CO₂-ekvivalenter per år, år 2050. Inom transportsektorn uppgår skillnaderna till cirka 350 kton år 2050 varav flyg står för 38 % och persontrafik respektive maskiner för 23 % vardera. I Figur 8 illustreras utsläppsbesparingar av åtgärderna.

I AKT-scenariot mellan 2010 och 2050 sjunker dock andelen fossil energi i transportsektorn från 94 % till 44 %. Detta betyder att något mer än hälften av de fossila bränslena ersätts av el och biomassa, i huvudsak i form av etanol och biodiesel. En lägre energiintensitet i fordon i BAKT-scenariot på grund av högre andel elmotorer och bränsleceller ger dock ytterligare utsläppsbesparingar. Direkta minskningar av

växthusgaser till följd av att ersätta fossila bränslen i fordonssektorn med elektricitet och biomassabaserade drivmedel uppskattas därför till cirka 500 kton årligen år 2050 varav flyg står för cirka en tredjedel. Insatser före och efter år 2030 på detta område uppskattas bidra till dessa skillnader till ungefär lika stora delar.

Produktionen av spillvärme och andra systemeffekter har en begränsad påverkan på klimatutsläppen. Skillnaden av utsläpp från energiomvandling uppgår till 65 kton år 2050. I dessa ingår en minskning av cirka 60 kton från fjärrvärme, fjärrånga och fjärrkyla på grund av att två tredjedelar av hushållsavfallet ersätts med biomassa. Vid bytet av panna år 2030 då halva avfallsmängden byts ut mot biobränslen minskar klimatutsläppen från fjärrvärme med nära 50 % trots en ökning av den producerade fjärrvärmens med cirka en halv procent per år, främst till följd av att relativt spillvärmeproducerande metanolproduktion fasas ut. Att byta ut halva avfallsmängden mot trä har alltså betydligt större effekt på klimatutsläpp från fjärrvärmesektorn än spillvärmens från omvandlingsprocesser. Skillnaden i producerad värme från fjärrvärmeverk ökar framförallt under periodens sista tio år och uppgår som mest till cirka 1 %. Dessa siffror inkluderar inte energi- eller utsläpps-besparingar på grund av eventuell återvinning av avfall som slutar förbrännas.

Ökad landanvändning ger ytterligare utsläpp på cirka 10 kton men tillverkning av biokol ger en årlig kolsänka på cirka 64 kton koldioxidekvivalenter år 2050. År 2035 tas biokolsanläggningen i drift vilket resulterar i en minskad klimatpåverkan på 47 kton per år, en enskild något mindre minskning av utsläppen kan ses år 2045 när biokolsanläggningen i Uppsala byggs om och byggs ut, se figur 7. I Figur 8 åskådliggörs hur stora minskade växthusgasutsläpp de olika åtgärderna ger upphov till.



Figur 8: Minskad klimatpåverkan av utvalda åtgärder över hela den simulerade perioden. Hushållseffektiviseringar i BMåL, övriga åtgärder gäller båda scenarion.

I Tabell 35 redovisas fördelning av klimatpåverkan i de två scenariorna fördelat på de största sektorerna. Icke energirelaterade utsläpp består till största delen av utsläpp relaterade till landanvändning i jordbruk. Denna kategori inkluderar negativa utsläpp från biokol.

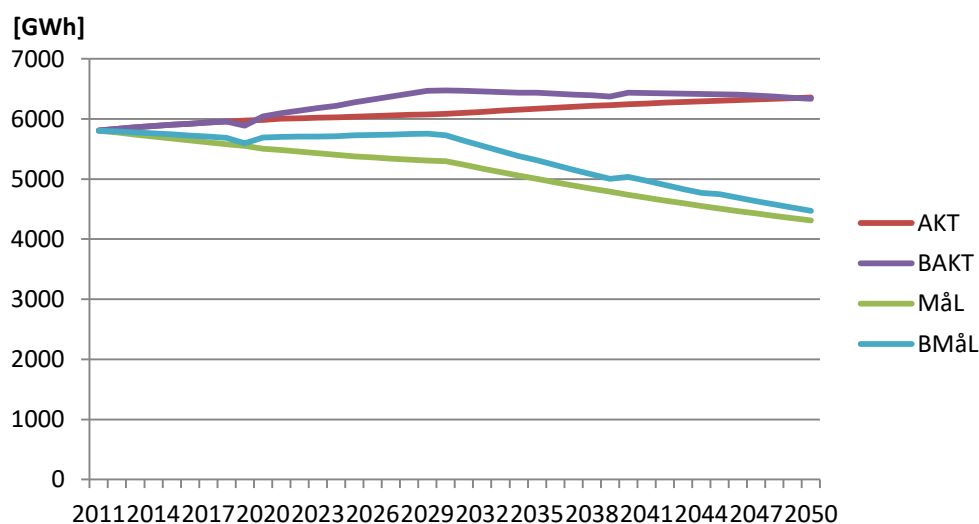
Tabell 35: Klimatpåverkan av mest betydande sektorer

Klimatpåverkan [kton GWP100] ([%])	BAKT			BMåL	
	2010	2030	2050	2030	2050
Flyg	252 (19,3)	297 (46)	207 (57)	274 (50)	64 (35)
Icke energi	135 (10,3)	134 (21)	79 (22)	134 (24)	74 (40)
Elektricitet	123 (9,4)	81 (13)	28 (8)	59 (11)	26,6 (14)
Fjärrvärme	343 (26,2)	44 (7)	35 (10)	28 (5)	9 (5)
Totalt	853 (65,2)	556 (87)	349 (97)	495 (90)	174 (95)

I Tabell 35 kan ses att flyget förväntas stå för en större del av växthusgasutsläppen i framtiden. Detta beror främst på att växthusgasintensiva bränslen fasas ut i andra sektorer där fjärrvärme och transport exklusive flyg har störst påverkan. Övrig transport stod år 2010 för 31 % av växthusgasutsläppen men står i BAKT och BMåL för en mycket liten andel av utsläppen.

4.2 Energibehov och tillförsel av energi

I Figur 9 kan energibehovet för Uppsala kommun ses i fyra olika scenarion.



Figur 9: Total energitillförsel

De olika energislagen klumpas ihop i Figur 9, vilket är en grov förenkling då energisystemet innefattar en lång rad olika energislag med olika egenskaper. Figuren åskådliggör dock att med de förändringar som görs är påverkan på den totala energitillförseln relativt liten utom omkring år 2030 då de relativt stora förlusterna i metanolproduktionen bidrar till en något högre energitillförsel. Betydande förändringar i BMåL och BAKT jämfört med MåL och AKT sker inom fjärrvärmesektorn och transportsektorn och dessa särredovisas med alla energislag under rubrik 4.4 och 4.5. I Tabell 36 kan energiförbrukningen hos de tre största sektorerna ses. Även här och i Tabell 37 summeras de olika energislagen för att illustrera hur stor del i energisystemet de olika sektorerna har över tid.

Tabell 36: Energianvändning, mest betydande sektorer

Energianvändning [GWh] ([%])	BAKT				BMåL			
	2030		2050		2030		2050	
Transport	2442	(44,9)	2180	(40,2)	2016	(41,4)	934	(24,3)
Hushåll	1458	(26,8)	1642	(30,3)	1305	(26,8)	1305	(34,0)
Privat sektor	736	(13,5)	719	(13,2)	737	(15,2)	719	(18,7)
Totalt	4636	(85,2)	4541	(83,6)	4058	(83,2)	2958	(76,3)

I Figur 9 och Tabell 36 kan ses att en övervägande majoritet av skillnaden mellan BAKT och BMåL finns i transportsektorn och i princip hela resterande skillnaden inom hushållssektorn. I hushållssektorn uppnås skillnaden genom energieffektiviseringar och i transportsektorn genom en kombination av energieffektiviseringar och minskat resande. För att analysera vilken av dessa åtgärder som har störst inverkan analyseras tre delsektorer som i båda scenarion står för cirka 4/5 av energibehovet under den analyserade perioden. Se Tabell 37. Observera att långväga transport med bil och buss ej är inkluderat i nedanstående kategorier.

Tabell 37: Energianvändning i transportsektorn, mest betydande delsektorer

Energianvändning i transportsektorn [GWh] ([%])	BAKT				BMåL			
	2030		2050		2030		2050	
Flyg	1289	(52,8)	1240	(56,9)	1189	(59,0)	383	(41,0)
Bil, persontransport	445	(18,2)	390	(17,9)	271	(13,5)	185	(19,8)
Buss, persontransport	151	(6,4)	128	(5,9)	202	(10,0)	151	(16,1)
Totalt	1885	(77,4)	1758	(80,7)	1662	(82,5)	719	(76,9)

I ekvation (20) visas hur skillnaden i trafikarbete räknas ut och ekvation (21) visar hur skillnaden i energiintensitet räknas ut. Resultaten av dessa uträkningar sammanställs i

Tabell 38.

$$\text{Skillnad i trafikarbete} = (Ta_{BAKT}/Ta_{BM\grave{a}L} - 1) \quad (20)$$

$$\text{Skillnad i energiintensitet} = \left(\frac{E_{BAKT}/Ta_{BAKT}}{E_{BM\grave{a}L}/Ta_{BM\grave{a}L}} - 1 \right) \quad (21)$$

Ta = Trafikarbete

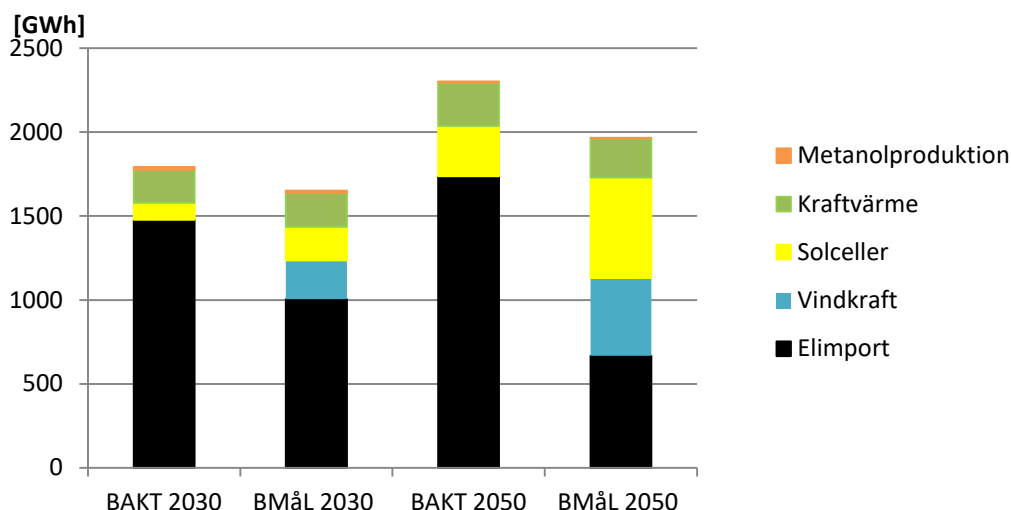
E = Energiförbrukning

Tabell 38: Skillnad i trafikarbete och energiintensitet mellan BAKT och BMåL

Skillnad i trafikarbete [%] resp. Skillnad i energiintensitet [%]	2030		2050	
Flyg	3,7	4,5	182,8	40,9
Bil, persontransport	34,0	22,6	44,0	46,4
Buss, persontransport	-28,2	6,8	-22,4	9,5

Tabell 37 visar att flyg står för nära hälften av energiförbrukningen i transportsektorn i samtliga scenarion. År 2030 är skillnaderna mellan scenariorna i trafikarbete och energiintensitet för flyg små och av jämförbar storlek. Till år 2050 har betydande energieffektiviseringar gjorts inom flyget men den enskilda faktor som påverkar skillnaden i energiförbrukning mest är att trafikarbetet inom flyget är nära tre gånger så stort i BAKT som i BMåL. För personbilar påverkar skillnader i trafikarbete och energiintensitet i jämförbar utsträckning. Trafikarbetet utfört av bussar är mindre i BAKT och skillnaden i energieffektiviseringar är mindre än för bilar och flyg.

Figur 10 illustrerar elproduktion år 2030 och 2050 i de två scenariorna.



Figur 10: Lokal elproduktion och import år 2030 och 2050

Skillnaden i elproduktion mot de scenarior som BAKT och BMåL är baserade på visas Tabell 39 i absoluta tal och som andel av BAKT respektive BMåL.

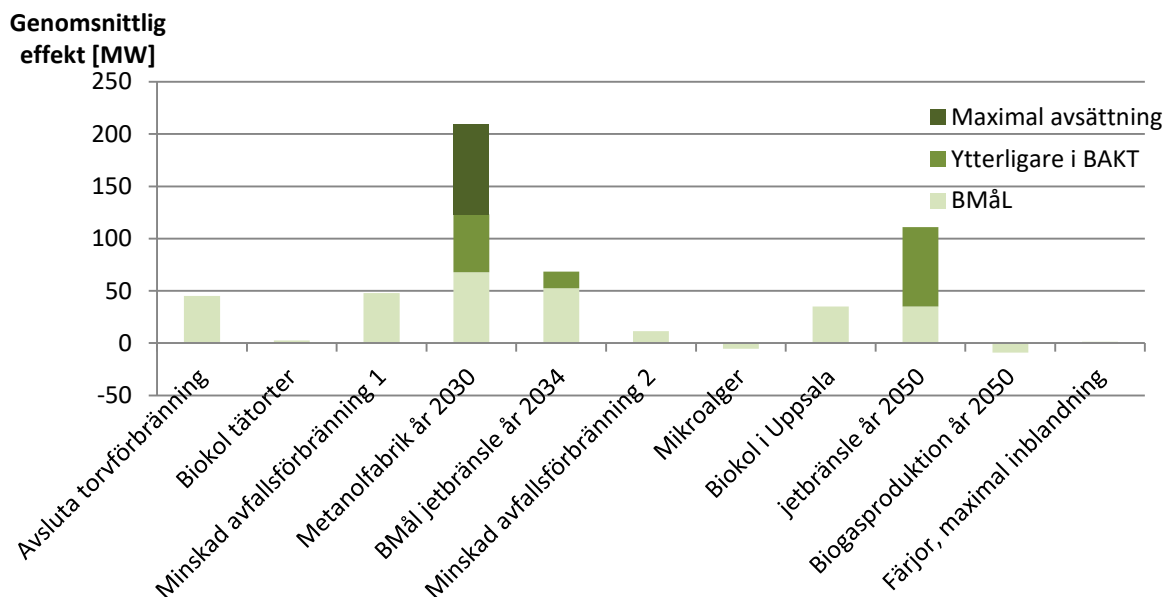
Tabell 39: Skillnad i elproduktion mellan scenarion

Skillnad elproduktion [GWh] ([%])	2030	2050
BAKT-AKT	87 (4,9)	199 (8,7)
BMåL-MåL	-56 (-3,4)	-53 (-2,7)

I Figur 10 kan ses att elproduktionen endast påverkas i lägre grad av de förändringar som gjorts varför den övergripande analysen av elektricitet i Uppsala kommun (2015) fortfarande kan sägas vara aktuell. En majoritet av skillnaderna mellan scenariorna återfinns inom passagerartrafik varför mindre delar av tidigare analys inom detta område kan ha påverkats betydligt. Följande avsnitt fokuserar därför på detta.

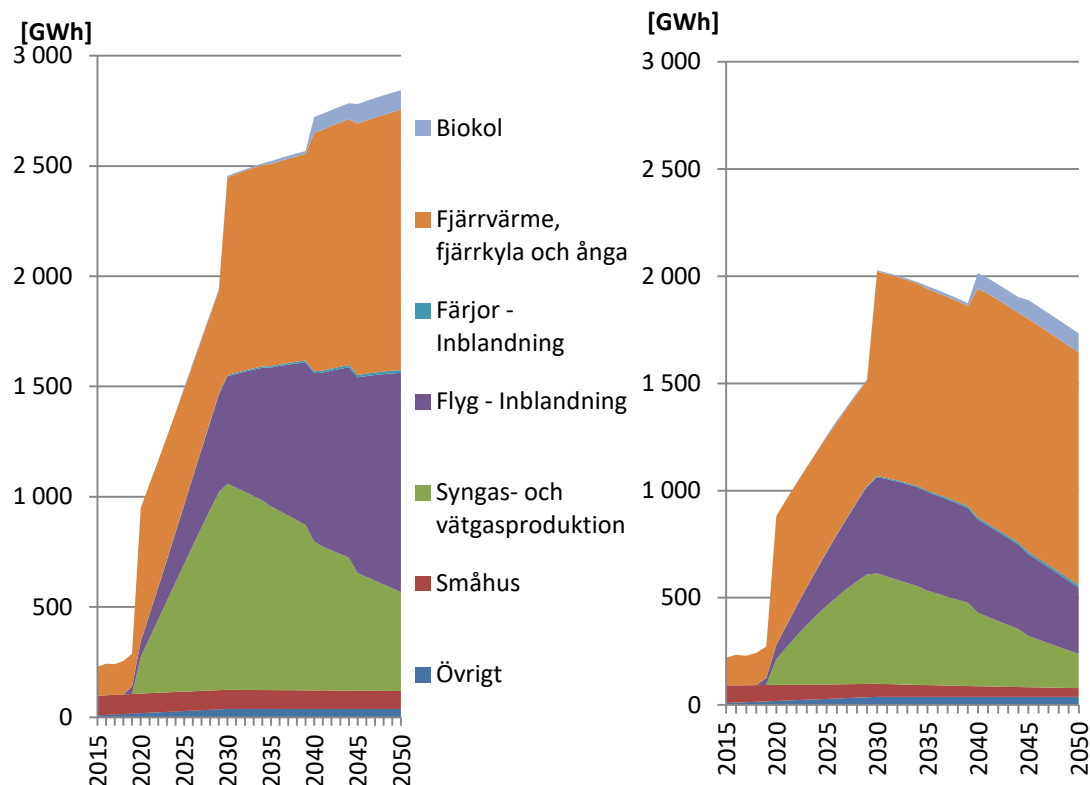
4.3 Bioenergibehov i Uppsala kommun

Figur 10 illustrerar påverkan på biomassabehovet från de åtgärder som beskrivs i 3.9. Mikroalger och biogasproduktion har en mycket begränsad påverkan på efterfrågan.



Figur 11: Biomassabehov uppdelat på teknologier. "Maximal avsättning" visar ytterligare bioenergibehov för en metanolfabrik med produktion av 500 ton metanol om dagen.

I 2.1 beskrivs att det inte finns någon annan stad i länet där all spillvärme från en drivmedelsfabrik kan tillgodogöras i fjärrvärmesystemet varför en stor del av länets drivmedel behöver tillverkas i Uppsala kommun. I Uppsala kommun bor 58 % av länets invånare. Förutsätts övriga invånare ha en liknande energianvändning ökas även behovet av bioenergi med cirka 50-100 % beroende på om inflyttningen är lika stor i övriga länet. I LEAP-modellen används bioenergiråvara i stor mängd till drivmedelstillverkning och fjärrvärme. Figur 12 visar bioenergibehovet i LEAP-modellen för Uppsala kommun. Under antagande att länets övriga invånare har liknande energibehov bör länets energibehov vara nära dubbelt så stort.



Figur 12: Bioenergibehov i BAKT (vänster) och BMåL (höger)

Dessa behov bör sättas i relation till uppskattningarna som gjordes vid 2.6. I länet uppskattades bioenergipotentialen till cirka 3 500 GWh och i kommunen till cirka 2 000 GWh. Vid antagande om att behovet i länet är nära dubbelt så stort som i Uppsala kommun behövs en utveckling av energibehovet i BMåL för att undvika långväga transporter av biomassa.

I Figur 12 kan ses att behovet av metanol minskar efter 2030, 1000 GWh motsvarar cirka 114 MW och kan således sägas motsvara halva metanolanläggningen på 211 MW. I BAKT finns därför avsättning i länet för hela produktionen från metanolanläggningen år 2030. I BMåL är metanolbehovet i länet betydligt mindre än produktionen från en metanolanläggning. Detta kan lösas på flera sätt:

- **En kombianläggning**

Producerar både metanol och flygbränsle. Arlanda täcker en stor del av rikets flygtrafik. Det faktiska behovet av förnybart flygbränsle är därför många gånger större än i Figur 12.

- **Export av metanol utanför länet**

Storstockholm har en betydligt större befolkning än Uppsala län med en begränsad biomassatillgång. Vid en nationell omställning av energisystemet klarar Stockholm som region sannolikt inte av att täcka sitt eget behov av drivmedel. Detta alternativ gör dock att flygbränsle sannolikt behöver tillverkas på annan ort.

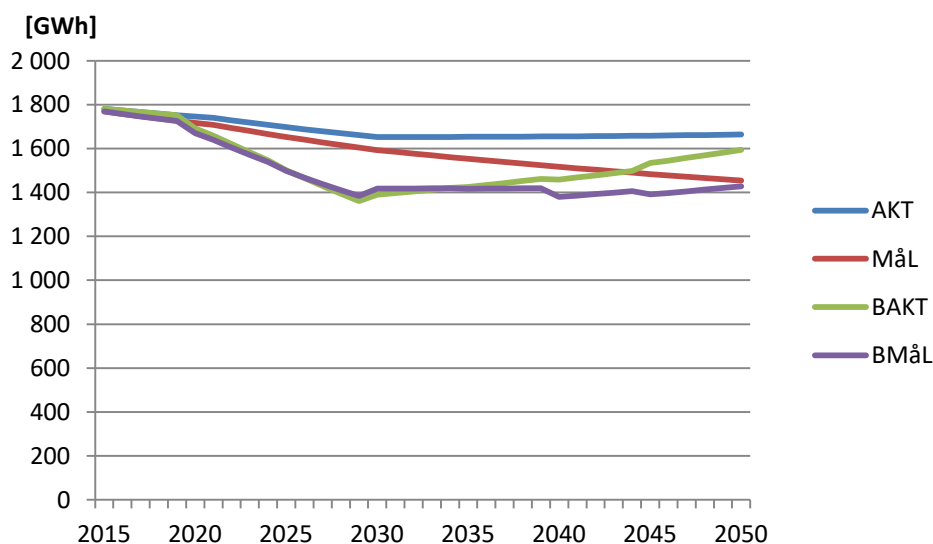
- **Icke energirelaterade tillämpningar**

Metanol och syngas kan användas inom kemiindustri för framställning av en lång rad produkter. Överskottet skulle kunna användas inom denna sektor. Detta skulle kunna ske på annan ort eller lokalt i nystartad industri.

Efter 2030 minskar behovet av syngasrelaterade produkter varför en existerande anläggning möjligen kan dra nytta av någon kombination av ovanstående åtgärder då ingen av dessa utesluter en annan åtgärd.

4.4 Påverkan på fjärrvärmesystemet

Spillvärme från de processer som tillverkar drivmedel påverkar fjärrvärmeproduktionen i viss utsträckning. I Figur 13 visas årligt bränslebehov till fjärrvärmesektorn.

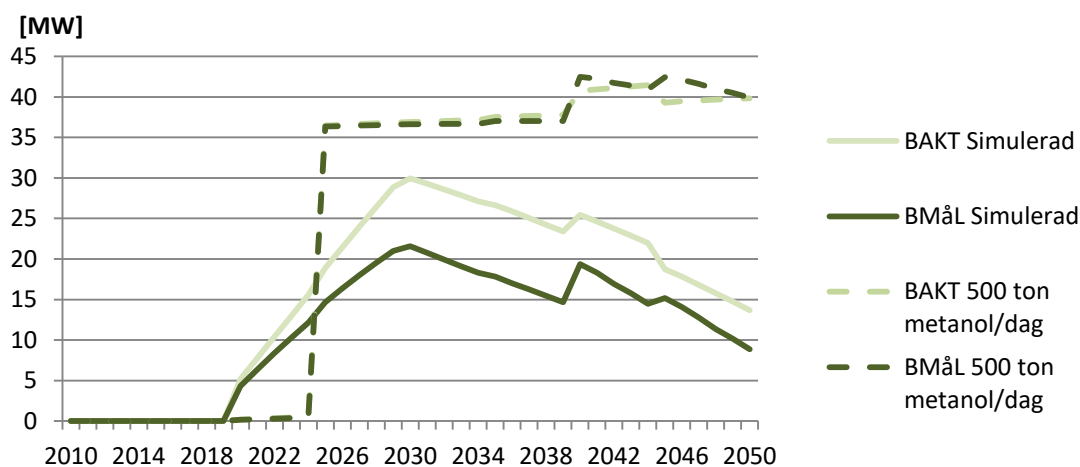


Figur 13: Årligt bränslebehov, fjärrvärme

I Figur 13 kan ses att fjärrvärmeproduktionen minskar i en inte obetydlig omfattning kring 2030 när den spillvärmeintensiva metanoltillverkningen är som mest omfattande. Till år 2050 fasas det mesta av metanolen ut, främst till fördel för vätgas som ger betydligt mindre spillvärme i tillverkningsprocessen. Detta leder till att påverkan på

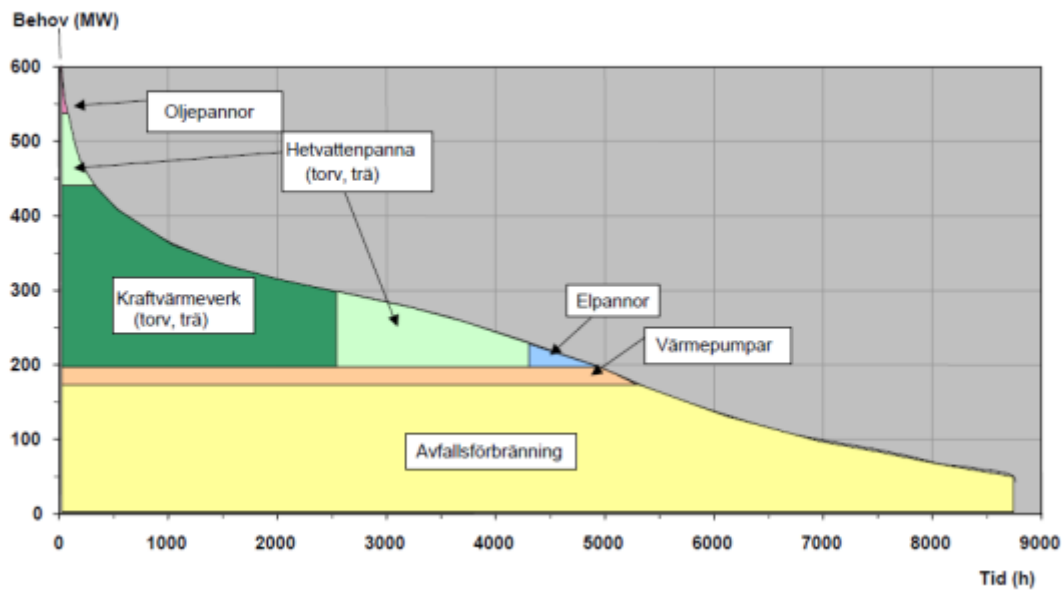
fjärrvärmesystemet minskar betydligt. Spillvärmen bidrar dock med en konstant, relativt liten effekt värme vilket leder till att behovet av tillsatt effekt i fjärrvärmesystemet minskar betydligt mindre än behovet av energi.

I Figur 14 ses den genomsnittliga effekt av spillvärme som bildas från produktion av biokol, vätgas, DME, metanol och förgasning. I figuren visas simulerad effekt i LEAP-modellen och två alternativ där modellens metanolproduktion med tillhörande förgasning ersatts med en enhet som producerar 500 ton metanol om dagen från år 2025. Samtliga anläggningar som producerar spillvärme bör av ekonomiska skäl köras nära full effekt så stor del av tiden som möjligt, varför effekten av spillvärme bör vara relativt konstant.



Figur 14: Genomsnittlig spillvärmeproduktion

I Figur 14 visar de streckade linjerna respektive scenario med en metanolproduktion om 500 ton dagen istället för den simulerade metanolproduktionen med övriga värden oförändrade. I Figur 14 byggs anläggningen för denna metanolproduktion år 2023 med konstant produktion hela perioden vilket genererar cirka 35 MW spillvärme. Övriga processer bidrar tillsammans med under sju MW spillvärme under hela perioden i båda scenarion varför endast metanolproduktion kan sägas ha signifikant påverkan på fjärrvärmesystemet. I Figur 15 kan ett förenklat varaktighetsdiagram för vattenfalls fjärrvärmeproduktionsanläggningar i Uppsala ses.

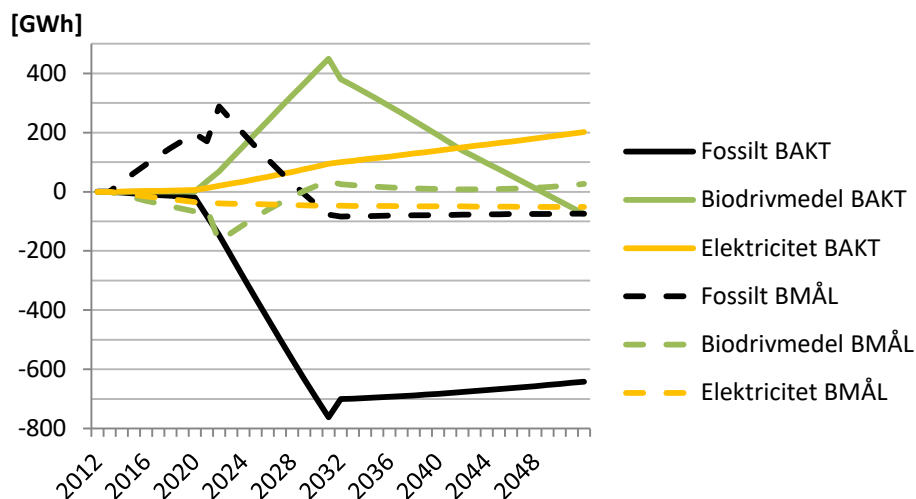


Figur 15: Förenklat varaktighetsdiagram över Vattenfalls anläggningar i Boländerna
Bildkälla: Vattenfall (2015)

I Figur 15 kan ses att den minsta effekt som behövs i systemet är cirka 50 MW och den högsta effekten är cirka 600 MW. Då den minsta effekten som behövs i Uppsala stad är högre än den spillvärme som bildas finns möjlighet att använda all spillvärme hela året. Energieffektiviseringar i bostadsbeståndet påverkar värmebehovet mest vid höga effektbehov (kallt ute, stora värmeförluster) och relativt lite vid låga effektbehov (varmt ute, mest tappvarmvatten). Energieffektiviseringar i nuvarande bestånd och addition av en stor mängd nya bostäder som delvis ansluts till fjärrvärmenätet bör därför ge ett något jämnare effektbehov över året.

4.5 Drivmedel

I Figur 16 kan ses skillnaden i användning av drivmedel i BAKT och BMåL jämfört med de scenarior de är baserade på. För vidare analyser har samtliga drivmedel delats upp i tre kategorier. Drivmedel med en andel fossilt innehåll och en andel biodrivmedel har delats upp mellan respektive kategori enligt energiinnehåll i drivmedlen.



Figur 16: Drivmedelstyp i transportsektorn. Skillnader i drivmedelssammansättning mot AKT respektive MåL

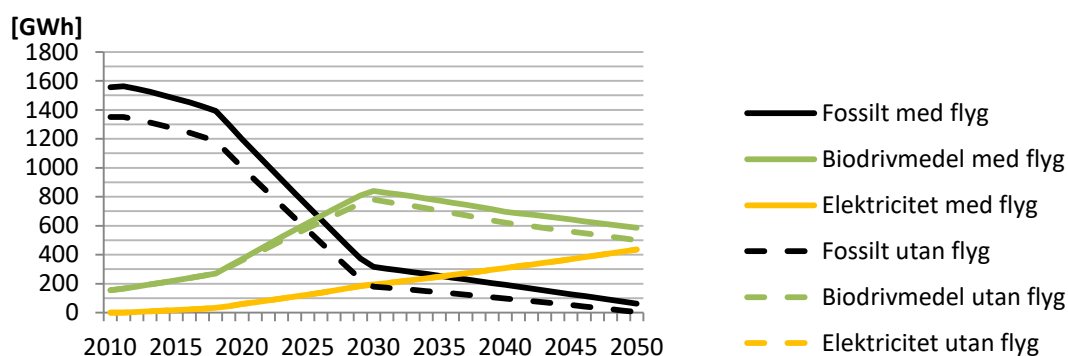
I Bortom-scenariona fasas fossila drivmedel ut något långsammare än i MåL. Detta leder till att mängden fossila bränslen före 2027 är något högre i BMåL än i MåL. I Figur 16 kan ses att skillnaden i biodrivmedel endast är betydande mellan scenariona BAKT och AKT kring åren 2025-2045 på grund av att biodrivmedel introduceras snabbare i BAKT. I BMåL är skillnaden i användning av biodrivmedel liten över hela perioden. I grundscenariona används primärt biodiesel och etanol som biodrivmedel. Tillverkningsprocessen av dessa drivmedel lämnas utanför modellen och vilka råvaror dessa skall produceras av är oklart. Den mest betydande skillnaden för biodrivmedel i BAKT och BMåL mot AKT och MåL är därför att drivmedel produceras i regionen av restprodukter som endast i mycket liten utsträckning konkurrerar med matproduktion.

Användningen av elektricitet som drivmedel är betydligt högre i BAKT än i AKT. Detta beror på en mer långtgående elektrifiering av fordonsflottan i BAKT. I princip hela ökningen av elbehovet i transportsektorn sker dock i form av laddhybrider och omkring halva denna ökning sker bland personbilar. I BMåL är elbehovet i transportsektorn något mindre än i MåL.

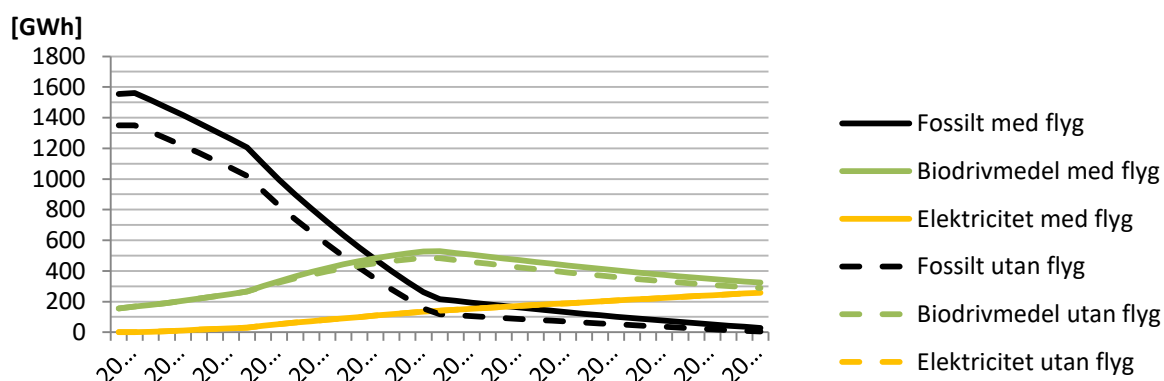
Mängden fossila drivmedel i BAKT är betydligt mindre än i grundscenariot. Ökningen av alternativa drivmedel är dock mycket mindre. Detta åstadkoms främst genom att byta förbränningsmotorer i grundscenariot mot elmotorer i BAKT som är betydligt energieffektivare i användningssteget. En faktisk energieffektivisering uppstår dock

endast om den el som används tillverkas i processer med hög verkningsgrad. Detta då en majoritet av energin går förlorad i förbränningsprocesser som endast tillverkar el, till exempel gasturbiner och kondenskraftverk. Den mindre skillnaden i användning av fossila bränslen i BMåL mot grundscenariot beror på ökad inblandning av förnybart drivmedel inom flyget.

Figur 17 och Figur 18 ger en överblick över hur fördelningen av drivmedel utvecklas under scenariona BAKT och BMåL. Observera att flyg endast står för en stor del av behovet av fossila bränslen efter att en omställning mot förnybara drivmedel gjorts i de andra delsektorerna.



Figur 17: Drivmedelstyp i BAKT



Figur 18: Drivmedelstyp i BMåL

5. Känslighetsanalyser

Tre känslighetsanalyser utfördes. En minskad befolkningsökning, förändringar i flygresandet och en ökad produktion av biokol.

5.1 Minskad befolkningsökning

År 2015 uppgick Uppsala kommuns befolkning till 210 003 invånare och befolkningsökningen har sedan 2003 legat relativt stabilt kring medelökningen under perioden på 2446 personer per år enligt SCB (2016c). I modellen ökar befolkningen i kommunen snabbare. En känslighetsanalys där befolkningen ökar med 2/3 respektive 1/3 av denna hastighet genomförs därför. Se Tabell 40, Tabell 41 och Tabell 42.

Tabell 40: Befolkning i Uppsala kommun, 3 befolkningsökningar relativt modell

Omfattning			
Befolkningsökning	2011	2030	2050
3/3	200 001	274 800	340 480
2/3	200 001	249 867	293 654
1/3	200 001	224 934	246 827

Tabell 41: Årlig Befolkningsökning i Uppsala kommun, 3 befolkningsökningar relativt modell

Omfattning	2011-	2030-
Befolkningsökning	2030	2050
3/3	3937	3284
2/3	2625	2189
1/3	1312	1095

Tabell 42: Påverkan av minskad befolkningsökning, två omfattningar. Procentuell skillnad mot respektive scenario utan ändringar i befolkningsökning

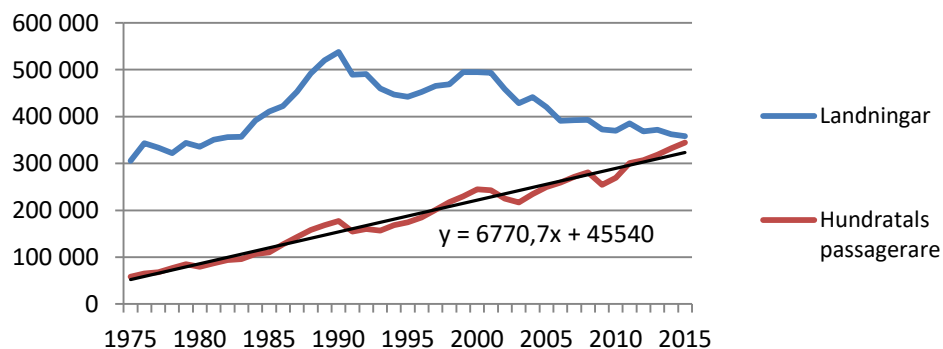
2/3 Befolkningsökning	2030		2050	
	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Befolkning [%]	91	91	86	86
Klimatpåverkan [%]	94	94	88	93
Biomassabehov [%]	94	94	90	93
Energibehov [%]	94	94	90	91

	2030		2050	
1/3 Befolkningsökning	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Befolkning [%]	82	82	72	72
Klimatpåverkan [%]	88	88	79	86
Biomassabehov [%]	87	88	80	83
Energibehov [%]	87	88	81	82

I Tabell 42 kan ses att med dessa justeringar i befolkningsökningen påverkas samtliga studerade faktorer betydligt. Faktorerna påverkas dock mindre än befolkningsökningen vilket betyder att påverkan och behov per person ökar vid en långsammare befolkningsutveckling. I detta fall spelar systemgränserna en stor roll, då varor som importeras i kommunen inte tas med i modellen. Tillverkning av energikrävande produkter väntas endast få påverkan i mindre utsträckning och matproduktion väntas inte påverkas alls då mycket mat redan importeras in i kommunen. Således är påverkan på importerade varor relativt stor och då dessa inte finns med i modellen blir resultatet något missvisande. Den faktiska påverkan från skillnaden Tabell 42 bör därför bli något större.

5.2 Flygresande

Enligt Trafikanalys (2016) har mängden landningar i Sverige varit konstant eller minskat något de senaste 40 åren medan antalet resande har ökat. Detta har uppnåtts genom att öka genomsnittsbeläggningen på flygplan från cirka 20 personer år 1975 till 96 personer år 2015. En linjär trendlinje med relativt god passning ger att antalet passagerare årligen ökat med 2,5 % av 2010 års passagerare de senaste 40 åren. Se Figur 19.



Figur 19: Flygtrafik på svenska flygplatser, landningar och hundratal passagerare.
Datakälla: Trafikanalys (2016)

Data i Figur 19 är inte detsamma som energiförbrukningen då denna beror på andra faktorer såsom resornas längd och flygplanens storlek. Dessa data används dock för att

få en uppfattning om pågående trender. Slutsatsen att allt fler personer flyger mer, i vad som antas vara allt större flygplan, dras därför.

I LEAP-modellen ökar flygandet per person i BAKT och minskar betydligt i BMÅL efter år 2030 (Tabell 43), Med en extrapolering motsvarande en linjär ökning på 2,5 % av 2010 års värden fördubblas flygandet mellan år 2010 och 2050.

Tabell 43: Trafikarbete i flygsektorn i LEAP-modellen

Trafikarbete flyg [fordonskm/invånare]	2010	2030	2050
BAKT	59,3	75,9	81,3
BMÅL	59,3	73,2	28,8
Extrapolering	59,3	89,0	118,7

I en känslighetsanalys förändras omfattningen av flygandet med -20 %, + 20 % och + 40 %. En ökning med 20 % gör att omfattningen i BAKT år 2030 hamnar nära extrapoleringen och 40 % gör att omfattningen i BAKT år 2050 hamnar nära extrapoleringen. I Tabell 44 redovisas resultaten av de tre försöken.

Tabell 44: Resultat av känslighetsanalys flyg, tre omfattningar

	2030		2050	
-20 % flygande	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	90,8	90,0	85,6	92,8
Biomassabehov [%]	96,3	96,1	93,7	95,7
Energibehov [%]	95,3	95,1	95,4	98,0

	2030		2050	
+20 % flygande	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	109,2	110,0	107,8	106,7
Biomassabehov [%]	103,7	103,9	106,3	104,3
Energibehov [%]	104,7	104,9	104,6	102,0

	2030		2050	
+ 40 % flygande	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	118,4	119,9	118,8	113,7
Biomassabehov [%]	107,3	107,9	112,5	108,6
Energibehov [%]	109,5	110,2	109,1	104,0

I Tabell 44 kan ses att antaganden om flygningens omfattning har en stor inverkan på de totala klimatutsläppen i båda scenarierna. Påverkan på biomassabehov och energibehov är mindre men fortfarande signifikant. Antaganden i flygsektorn har stor påverkan på resultatet.

5.3 Ökad produktion av biokol

Kommunen har tagit beslut om att vara klimatpositiv till år 2050. För att lyckas med detta krävs ytterligare minskningar av klimatpåverkan. Ett sätt att uppnå detta är att utöka produktionen av biokol. I samtliga scenarion går det att få ytterligare avsättning för el och värme då elförbrukningen är betydligt högre än produktionen respektive genom att ersätta fjärrvärme. Processen ger biokol och skapar el i en ångcykel med 30 % verkningsgrad, där överbliven värme används i fjärrvärmenätet. Detta ger processen karaktäristik enligt

Tabell 45. Övriga antaganden följer tidigare biokolsproduktion.

Tabell 45: Egenskaper biokol, känslighetsanalys

Systemverkningsgrad:	90 %		
Energimässig fördelning av slutprodukter:	Biokol 50%	Elektricitet 15 %	Värme 35 %

Processen simulerades i omfattningarna 60, 120 och 180 MW medeleffekt bränsle. Resultat för åren 2030 och 2050 kan ses i

Tabell 46. Tre nyckeltal presenteras. Klimatpåverkan anger hur stor del av klimatpåverkan i det avsedda scenariot som återstår efter biokolsproduktion. Biomassabehov anger hur stor del av biomassabehovet i det avsedda scenariot som behövs. Ersatt fjärrvärme anger hur stor del av energin från fjärrvärmeproduktion i det avsedda scenariot som ersätts av spillvärmen.

Tabell 46: Resultat känslighetsanalys biokol. Tre omfattningar. Se text för förklaring av klimatpåverkan och biomassabehov.

	2030		2050	
180 MW	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	53	45	18	-60
Biomassabehov [%]	147	155	138	157
Ersatt fjärrvärme [%]	35	35	31	35
Producerad kol [ton]	79182	79182	79182	79182

	2030		2050	
120 MW	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	69	63	44	-7
Biomassabehov [%]	132	137	126	138
Ersatt fjärrvärme [%]	23	23	21	23
Producerad kol [ton]	52788	52788	52788	52788

	2030		2050	
60 MW	BAKT	BMÅL	BAKT	BMÅL
Klimatpåverkan [%]	84	82	70	47
Biomassabehov [%]	120	121	116	123
Ersatt fjärrvärme [%]	12	12	10	12
Producerad kol [ton]	26394	26394	26394	26394

I Tabell 46 kan ses att om kommunen skall bli klimatpositiv med tillverkning av biokol behövs en utveckling i stil med BMÅL samtidigt som ytterligare 52788 ton kol produceras årligen vilket ökar biomassabehovet med 38 % jämfört med grundscenariot. Biomassabehovet i scenariot BMÅL är innan denna förändring jämförbar med det bränsle som uppskattningsvis kan produceras inom kommungränsen. Sker utvecklingen i linje med BAKT blir biomassabehovet alltför stort för att kommunen på ett genomförbart vis skall kunna bli klimatneutral med egen biomassatillförsel. I Tabell 46 kan ses att en relativt stor del av fjärrvärmens ersätts med biokolsanläggningen. För att få avsättning för all spillvärme i fjärrvärmenätet kan anläggningen därför inte köras på full effekt under årets alla timmar.

6. Diskussion

6.1 Energi

Energitillförsel i BAKT respektive BMÅL är något högre än i AKT och MÅL. Kring år 2030 är skillnaden störst och uppgår till cirka 8-10 %. Då tillverkningen av drivmedel flyttas inom systemgränserna innebär detta att förluster i tillverkningsprocesser följer med. Importerade drivmedel har liknande förluster som i AKT och MÅL ligger utanför systemgränserna och därför inte syns i modellen. En stor mängd avfall försvinner från fjärrvärmesektorn i bortom-scenarierna vilket ger positiva effekter utanför systemgränserna, antingen genom ökad återvinning eller som ett bränsle, vilket oavsett ger positiva effekter ur ett nationellt perspektiv. Sammantaget ger dessa effekter på omvärlden att bortom-scenariona är mer fördelaktiga ur ett energiperspektiv än vad kapitel 4.2 gör gällande. De största vinsterna finns att hämta form av minskat importbehov av energi och minskad klimatpåverkan.

6.2 Klimatpåverkan

Resultaten pekar på att det är problematiskt att uppnå de mål om fossilfrihet och klimatpositivt samhälle som ligger till grund för denna studie även om betydande utsläppsminskningar är realiserbara. Antaganden om utsläppsfaktorer är något generösare i BMÅL än i BAKT och kritiker kan mena att dessa är alltför generösa, då till exempel biomassa förutsätts minska klimatpåverkan betydligt i MÅL. Det går dock inte att komma ifrån att alla aktiviteter ger klimatpåverkan då de i någon utsträckning ger upphov till ett energibehov. Avsnitt 5.3 visar att stora mängder biokol krävs för att uppnå ett klimatpositivt samhälle i BMÅL-scenariot som har relativt generösa antaganden om utvecklingen av klimatpåverkan och energibehovet. Detta ger stora effekter på biomassabehovet.

6.3 Biomassa

Mängden biomassa som behövs för att försörja Uppsala län är jämförbar med den mängd som går att utvinna årligen i närområdet. Det finns dock en lång rad faktorer som påverkar efterfrågan, se avsnitt 4.3. För att kunna följa de scenarion som presenteras i LEAP-modellen krävs dock att en liknande omställning av energisystemet görs i hela landet. Vissa regioner bör dock ha betydligt svårare att förse ett samhälle med bioenergibehov liknande de som beskrivs i detta arbete. Problemen bör vara störst i Sveriges mest södra fjärdedel vilken innehåller de tre största städerna och begränsade mängder skog. Majoriteten av den bioenergipotential som redovisas i avsnitt 2.6 är dock jordbruksrelaterad vilket gör att det bör finnas goda chanser att utvinna en stor mängd biomassa. Mest relevant för utformningen av Uppsala kommuns energisystem är att Stockholms län har dåliga förutsättningar för att förse sitt behov av biomassa i en mer biomassaintensiv framtid. Detta då tillgången på skogs- och jordbruksmark är begränsad och befolkningen är mångdubbelt större än i Uppsala län. Ett nära samarbete med

Stockholms län är därför viktigt vid utformande av ett bioenergiintensivt energisystem. Området kräver vidare utredning.

6.4 Sammankoppling av energinät

I Uppsala kommun (2015) föreslås en ökad sammankoppling av energisystemen och ett regionalt gasnät för distribution av drivmedel. För att koppla ihop två godtyckliga energisystem bör det åtminstone tidvis finnas ett överskott av billig, eller på annat sätt fördelaktig, energi i en sådan kvantitet att detta motiverar den investering som det innebär att koppla ihop dessa system. Att ytterligare koppla ihop tätorter i kommunen med Uppsala stad i form av till exempel fjärrvärmesystem eller gasnät verkar inte uppfylla dessa krav då avstånden är relativt långa och förutsättningarna för bränslen någorlunda likvärdiga.

Att bygga ihop Storvretas fjärrvärmesystem med Uppsalas är mer intressant. Området är intressant för placering av den förgasningsanläggning som behövs för att frångå fossila bränslen. Detta beror till största del på att biomassatillgången i söder är begränsad av Mälaren och Stockholm. Viss avsättning för spillvärme finns i sådant fall i direkt anslutning till anläggningen. Möjlighet till en något begränsad långtidslagring av värme finns i bergrum, detta bör minska omfattningen av anslutningen till staden något och avståndet in till Uppsala stad är relativt kort. En stor del av producerat drivmedel kan distribueras effektivt längs en sträckning söderut istället för att transportera biomassa denna sträcka. Storvretas närhet till E4:an ger även goda förutsättningar för transport av stora mängder biomassa i nord-sydlig riktning.

6.5 Elektricitet och transport

Distribution av el till transportsektorn behöver utvecklas för att möjliggöra den elektrifiering av fordonsflottan som pågår i de båda scenariona. Idag verkar mest troligt att detta behöver ske i form av en kombination av stillastående laddning och direkt eldrift från ledning för att även omfatta tunga fordon. Liknande distributionsförluster är dock att vänta varför utformningen av denna kombination inte bör påverka resultatet. Idag finns endast stillastående laddning i omfattande skala vilket begränsar omfattande elanvändning till lättare fordon. Laddhybrider har dock förutsättningar att täcka en stor del av användningen av dessa fordon trots att laddningstiden ibland kan upplevas som lång. Teknik för laddning av bilar under drift är under utveckling men de omfattande kostnader och det faktum att investeringar i vägnätet inte kan göras stegvis leder till stora investeringskostnader på kort tid som tenderar att minska viljan att investera. Vidare står persontransport, företrädesvis i lätta fordon, för den största klimatpåverkan i LEAP-modellen i fordonssektorn. Sammantaget gör detta att personbilar och andra lätta fordon sannolikt elektrifieras före tyngre fordon genom stillastående laddning. Tyngre fordon behöver däremot använda biodrivmedel på kort sikt för att minska klimatpåverkan, effektiva styrmedel bör kunna fasa in biodrivmedel i denna sektor något snabbare än för lätta fordon.

Förgasning av svartlut används inte i detta arbete då produktion av svartlut inte sker i eller i direkt närhet till kommunens gränser. Förgasning av svartlut har dock identifierats som mer ekonomiskt än till förgasning av till exempel skogrester. I det verkliga systemet bör kommunen arbeta för att främja förgasning av svartlut i ett framtida distributionssystem som ansluter till dessa regioner, i modellen antas dock annat biobränsle förgasas inom kommungränsen. Sannolikt sker arbetet främst genom kunskapsutbyte kring processer för drivmedelstillverkning och samarbete kring bränslen för att försörja dessa processer på ett optimalt sätt då närliggande orter har bättre geografiska förutsättningar för att utnyttja resurser från pappersmassafabriker.

7. Slutsatser

Biomassa för energiändamål kan spela en stor roll i ett framtida energisystem. I detta arbete har en övergång från ett transportsystem baserat på fossila drivmedel till ett system baserat på vätgas studerats. Övergången sker via ett system baserat på metanol och DME, hela tiden med en ökning av andelen elektricitet i transportsektorn. Med genomtänkta processer för drivmedelstillverkning som utnyttjar en stor del av energin i biomassan kan en omställning mot ett fossilfritt samhälle genomföras med en liten ökning av energitillförseln lokalt, systemeffekter gör dock att energitillförseln globalt inte bör påverkas. Biomassan behöver dock kompletteras med elektricitet för att täcka hela behovet av drivmedel. De största vinsterna med en drastisk minskning av fossila drivmedel ligger i en minskning av koldioxidutsläppen och ökad energisäkerhet.

Ett transportsystem baserat på biodrivmedel och el blir mindre störningskänsligt än ett system baserat på endast en energibärare och ökar således energisäkerheten ytterligare. För att ytterligare minska energibehov och klimatpåverkan är det kritiskt att arbeta med trafikpolitiska mål för att minska persontransport inklusive flyg.

Det finns två betydande tekniska utmaningar att lösa för att realisera det system som beskrivs i LEAP-modellen:

- 1) Tillverkning av stora mängder förnybart flygbränsle från biomassarestprodukter
- 2) Storskalig distribution av vätgas för en övergång till detta drivmedel från ett system baserat på metanol och DME.

8. Vidare utredningar

Utöver tidigare listade svårigheter behövs ett antal vidare utredningar innan en omställning av energisystemet kan påbörjas.

- **Omvärldsbevakning**

Biobränsleförsörjning, distribution i det nya energisystemet och lokalisering av drivmedelstillverkning och dylika utmaningar kommer att kräva samarbeten över kommun och länsgränser för att på bästa sätt lösa problem. Det är därför kritiskt att tidigt identifiera problem och möjligheter både regionalt och nationellt för att inte bygga in sig i suboptimala lösningar.

- **Tillförsel av biobränslen**

När biomassabehovet ökar snabbt är det viktigt att identifiera geografiskt var detta behov kan tillgodoses, hur distribution skall ske samt säkra tillgångar och återväxt över överskådlig framtid.

- **Distribution av drivmedel**

Behovet av förnybara drivmedel kommer till en början vara litet och distribution kommer ske parallellt med långsamt minskande mängder fossila drivmedel under många år. Stora flöden av drivmedel behöver identifieras och en handlingsplan för att gradvis förändra distributionssystemet behöver tas fram. Vidare behöver eventuell samläggning av fasta installationer med upprustning och utbyggnad av fjärrvärme och eldistribution samordnas väl.

- **Synergier med industri**

Industri tekniska processer av större storlek kan integreras i systemet både som konsumenter av tillverkat drivmedel eller som producenter av bränsle i form av restprodukter. Behov, tillgång och möjlighet till ny industri i närområdet behöver kartläggas.

Referenser

Alvarez H (2006), *Energiteknik*, Upplaga 3:5, Studentlitteratur AB, ISBN 978-91-44-04510-8

Andersson A & Idstam P (2013), *Från alger till biodiesel – Den italienska drömmen?*, KTH industrial Engineering and management, Energy Technology EGI---2013

Antonsson H & Carlsson A (2011), *Andra generationens biodrivmedel – En litteraturöversikt*, VTI notat 32-11

Badeau, J., Levi, A. (2009), *Biomass gasification - Chemistry processes and applications*. ISBN 978-1- 61122-683-6 Nova Science publications, inc.

Bionär (2016), *Bionär närvärme AB*
Tillgänglig: <http://www.bionar.se/> [160525]

Byfors S (2014), *Hur lokal bioenergi kan bidra till att Uppsala kommun når klimatmålet 2050*, Civilingenjörsprogrammet i energisystem Examensarbete 2014:06, ISSN 1654-9392, Uppsala 2014

Byman K et al (2013) *Power to gas Internationell utblick och potentialen i Sverige*, ÅF-Infrastructure AB Energy Management

Gasbilen.se (2016), *Fakta om fordonsgas*, branschorganisationen Energigas Sverige
Tillgänglig: <http://gasbilen.se/Att-tank-a-din-gasbil/FAQFordons-gas> [160525]

Cortus (2016), *Cortus energy, 6 MW WoodRoll - Data sheet*
Tillgänglig: http://www.cortusenergy.com/6mw_woodroll_datasheet.pdf [160525]

Energimyndigheten 2016. *Energiläget i siffror*
Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2016/nu-finns-energilaget-i-siffror-2016/> [160525]

Fillipi, E (2016), Ermano Fillipi, Chief technology officer, Casale SA, e-post 19-23:e februari 2016

Gentili F G (2015), *Microalgal biomass and lipid production in mixed municipal, dairy, pulp and paper wastewater together with added flue gases*, Bioresource Technology 169 (2014) 27–32

Gobigas (2016), *Biogas genom termisk förgasning och metanisering*, Göteborgs energi
Tillgänglig: http://gobigas.goteborgenergi.se/Svensk_version/Biogas_genom_forgasning/Termisk_forgasning_och_metanisering [160525]

Gobigas (2016a), *Beslut om GoBiGas i Göteborgs kommunfullmäktige*, Göteborgs energi.
Tillgänglig: http://gobigas.goteborgenergi.se/Svensk_version/Nyheter/Beslut_om_GoBiGas_i_Goteborgs_kommunfullmaktige [160525]

- Gobigas (2016b), *Pressrelease: GoBiGas-anläggningen i kontinuerlig drift*, Göteborgs energi.
Tillgänglig: http://gobigas.goteborgenergi.se/Svensk_version/Nyheter/Pressrelease_GoBiGas_anlaggnin gen_i_kontinuerlig_drift [160525]
- Google (2016), Google maps, Googles kartsökningstjänst
Tillgänglig: <https://www.google.se/maps> [160525]
- Gustafsson M (2013), *PYROLYSIS FOR HEAT PRODUCTION Biochar – the primary byproduct*, Masters thesis in energy systems, Höskolan i Gävle.
- Hilyard J (2012), *The oil & gas industry: A nontechnical guide* - PennWell corporation 2012, ISBN: 978-1593702540
- Jechura J(2015) *Hydrogen from natural gas via Steam Methane Reforming (SMR)*, Colorado School of mines
- Jung J (2010), *Energikartläggning av avfallsförbränningen i Uppsala*, ISSN: 1650-8300, UPTEC ES10016
- Kommunfullmäktige (2015), KF 120. Förslag till skärpt kommungeografiskt klimatmål samt redovisning av Uppsalas nuvarande utsläpp av växthusgaser, KSN-2015-1959
Tillgänglig: <https://www.uppsala.se/organisation-och-styrning/organisation/ledning/kommunfullmaktige/moten/2015/7-december-2015/> [160611]
- Kowalewicz (1993), *Methanol as a Fuel for Spark Ignition Engines: A Review and Analysis*, Journal of Automobile Engineering January 1993 vol. 207 no. 1 43-52
- Landälv I (2016) Senior projektledare vid Institutionen för teknikvetenskap och matematik , Luleå Tekniska Universitet. E-post 23:e februari.
- LEAP (2016), Long range Energy Alternatives Planning system, Commend community, Stockholm Environmental Institute. Tillgänglig: <http://www.energycommunity.org/> [160525]
- Linné M et al (2008) *Den Svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter*, Biomill AB, Envirus AB, Avfall Sverige, Svenska biogasföreningen och Svenskt vatten
- MMSA (2016), *Methanol Market services asia, Methanol applications*, Tillgänglig: <http://www.methanolmsa.com/methanol/> [160525]
- Morandin (2015), *Methanol via biomass gasification, Thermodynamic performances and process integration aspects in Swedish chemical cluster and paper sites*.
- NRC (2004), National research council, *Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, The hydrogen economy – opportunities, barriers and R&D needs*
- Paulsson (2016), Muntlig källa. Markus Paulsson. Energistrateg på Lunds kommun.
- Petersson, G. 2007. Miljöbilar-hälsa, miljö och klimat. Chalmers University of Technology. Tillgänglig: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/45184.pdf> [160525]

Pinto et al (2009) *Innovation on Biomass Wastes Utilization Through Gasification and Co-Gasification*, Biomass gasification : chemistry, processes, and applications / Ed. J.P. Badeau, A. Levi. - New York : NOVA Science Publishers, 2009. - ISBN 978-1-60741-461-

Ptasinski, K. J., Sues A., Jurascik M. (2009), *Biowastes to biofuels routes via gasification*, Biomass gasification : chemistry, processes, and applications / Ed. J.P. Badeau, A. Levi. - New York : NOVA Science Publishers, 2009. - ISBN 978-1-60741-461-

Prins et al (2004), Exergetic optimisation of a production process of Fischer–Tropsch fuels from biomass, *Fuel Processing Technology* 86 (2004) 375 – 389

Regionfakta (2016), Uppsala Kommun – Fakta och perspektiv
Tillgänglig: <http://www.regionfakta.com/Uppsala-lan/Uppsala-lan/Uppsala/Geografi/Tatorter/> [160620]

Rostrup Nielsen J & T (2001), *Large scale hydrogen production*, 6th world congress of chemical engineering, Topsoe Technologies

Sandén och Wallgren (2015), *Perspektiv på eldrivna fordon 2015*, ISBN 978-91-88041-03-6, Chalmers

SCB (2016), *Folkmängden per tätort. Vart femte år 1990 – 2010*, Statistiska centralbyrån, Tillgänglig: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Befolkning/Befolkningens-sammansattning/Befolkningsstatistik/25788/25795/Helarsstatistik---Kommun-lan-och-riket/399347/> [160525]

SCB (2016a) , *Folkmängd i riket, län och kommuner 31 december 2015 och befolkningsförändringar 2015*, statistiska centralbyrån. Tillgänglig: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Befolkning/Befolkningens-sammansattning/Befolkningsstatistik/25788/25795/Helarsstatistik---Kommun-lan-och-riket/399347/> [160525]

SCB (2016b), *Folkmängden per tätort. Vart femte år 1990 – 2010*, statistiska centralbyrån.
Tillgänglig:http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_BE_BE0101_BE0101A/FolkmandTatort/?rxid=01297046-0ca0-44c3-aa21-61567a8dfa36 [160525]

SCB (2016c), *Folkmängden den 1 november efter region, ålder och kön. År 2002 - 2015*
Tillgänglig:http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_BE_BE0101_BE0101A/FolkmandNov/table/tableViewLayout1/?rxid=01297046-0ca0-44c3-aa21-61567a8dfa36 [160525]

Schultz et al (2001), Current Status of and Recent Developments in the Direct Methanol Fuel Cell, *Chemical Engineering & Technology*, Volume 24, Issue 12 December 2001 Pages 1223–1233

Seacomfort (2016), EFOY Bränslecell. Tillgänglig: <http://www.seacomfort.se/sv/branslecell/> [160620]

Semelsberger et al (2007), *Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel*, *Journal of Power Sources* 156 (2006) 497–511

Skogsindustrierna (2016) Medlemskarta, medlemmar och produkter. Tillgänglig: <http://www.skogsindustrierna.org/om-skogsindustrierna/medlemmar/medlemskarta> [160525]

Skytte J (2010) *Biokol som jordförbättring i en mineraljord, Biochar as soil amendment in a mineral soil*, Sveriges lantbruksuniversitet, examensarbete inom hortonomprogrammet

Smoot, L. Douglas, Smith, P. J., (1985), *Coal Combustion and Gasification*, Plenum Press, New York, USA.

SSAB (2016) SSAB, LKAB och Vattenfall tar initiativ till en koldioxidfri stålindustri
Tillgänglig: <http://www.ssab.se/GlobalData/News-Center/2016/04/04/05/32/SSAB-LKAB-och-Vattenfall-tar-initiativ-till-en-koldioxidfri-stalindustri> [160620]

Söder L (2013) *På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige En studie om kraftsystemets balansering*, KTH. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:570566/FULLTEXT02> [160620]

Toyota Mirai (2016) Toyota Mirai (2015) hydrogen fuel cell vehicle review. Tillgänglig: <http://www.carmagazine.co.uk/car-reviews/toyota/toyota-toyota-mirai-2015-hydrogen-fuel-cell-vehicle-review/> [160525]

Trafikverket (2016) Klimat, transporternas klimatpåverkan. Tillgänglig: <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/miljo-och-halsa/klimat/> [160525]

Uppsala klimatprotokoll (2016) Samarbetsorganisation för minskad miljöpåverkan med Uppsala kommun och lokala aktörer. Tillgänglig: <http://klimatprotokollet.uppsala.se/> [160525]

Subramani A (2015), *Compendium of hydrogen energy, Volume 1 hydrogen production and purification*, Elsevier ltd. ISBN 978-1-78242-361-4

Uppsala Kommun (2015), *"Färdplan klimatneutralt Uppsala – ett underlag för strategisk utveckling av klimat-mål, samt planer och åtgärder för minskad klimatpåverkan."* Version 4.0 slutrapport till Energimyndigheten, Uppsala kommun, 31 mars 2015.

Uppsala kommun (2015a) *UNDERLAGSRAPPORT: Energisystem 2050 i Uppsala kommun, Systemstudie Energi 2050*, Michael Åhlman, STADSBYGGNADSFÖRVALTNINGEN KSN-2014-132

Vattenfall (2015) Vattenfall Värme Uppsala Säkerhet, hälsa och miljö 2015. Tillgänglig: https://corporate.vattenfall.se/globalassets/sverige/verksamhet/fjarrvarme/vatt_3585_vattenfall_varme_uppsala_2015.pdf [160610]

Vinnova (2016), Crash safety of new engine technologies (Vinnova Dnr. 2009-01617) Stefan Thorn

Wegrzyn och Gurevich (1996), *Adsorbent storage of natural gas*, Applied energy vol 55, No. 2, pp 71-83, Elsevier scienceLtd

XU et al (1997), *Synthesis of dimethyl ether (DME) from methanol over solid-acid catalysts*, Applied Catalysis A: General 149 (1997) 289-301

Appendix A – Utförlig sammansättning av fordonsparken

I detta appendix beskrivs mer utförligt de antaganden som gjorts angående sammansättningen av fordonsparken i scenariona BAKT respektive BMåL. Vissa bränslen används i både förbränningsmotorer och bränsleceller, i dessa fall anges ICE (Internal Combustion Engine) respektive FC (Fuel Cell). De flesta drivmedel förkortas med första bokstav följt av en siffra. För fossila bränslen såsom bensen och diesel (B & D) avser siffran procent fossila bränslen, resten av dessa drivmedel utgörs av förnybart bränsle som importeras i LEAP-modellen. För förnybara drivmedel såsom etanol och metanol (E & M) avser siffran andel förnybart drivmedel, resten av drivmedlet utgörs av fossila bränslen. All metanol, DME, biogas och vätgas (H₂) tillverkas i modellen.

Persontransport bil

Tabell 47: Fordonstyper, persontransport bil

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	81,85	-	-	-
B90	-	1,50	0,75	0,00
D90	13,40	0,00	0,00	0,00
D80	-	4,50	2,25	0,00
E85	4,40	-	-	-
M50	-	7,50	3,75	0,00
M100	-	6,50	3,25	0,00
Biogas	0,35	-	-	-
DME ICE	-	12,00	6,00	0,00
Elektricitet	-	15,00	18,00	20,00
Laddhybrid B95	-	-	-	-
Laddhybrid B90	-	2,50	1,25	0,00
Laddhybrid D80	-	2,50	1,25	0,00
Laddhybrid M50	-	5,00	2,50	0,00
Laddhybrid M100	-	8,50	6,25	4,00
Laddhybrid DME				
ICE	-	8,50	6,25	4,00
Laddhybrid M100 FC	-	0,50	6,00	1,00
Laddhybrid DME FC	-	0,50	6,00	1,00
Laddhybrid H ₂ FC	-	1,00	4,75	30,00
Laddhybrid				
Elektricitet	-	24,00	31,75	40,00
Summa	100	100	100	100

Stadsbussar

Tabell 48: Fordonstyper, stadsbussar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
D90	65,83	-	-	-
Biogas	34,17	30,00	55,00	80,00
El	-	52,50	26,25	0,00
Laddhybrid Biogas	-	17,50	13,75	10,00
Laddhybrid El	-	0,00	0,00	0,00
Laddhybrid DME FC	-	0,00	5,00	10,00
Laddhybrid H2 FC	-			
Summa	100	100	100	100

Regionbussar

Tabell 49: Fordonstyper, regionbussar

Fordonstyp/år	2010	BAKT			BMåL		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050
D90	100	-	-	-	-	-	-
Biodiesel	-	-	-	-	-	-	-
Laddhybrid biogas	-	22,00	22,00	0,00	5,00	10,00	0,00
Laddhybrid DME	-	53,00	15,50	0,00	70,00	27,50	0,00
Laddhybrid El	-	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Laddhybrid DME FC	-	0,00	0,00		0,00	0,00	
Laddhybrid H2 FC	-	0,00	37,50	75,00	0,00	37,50	75,00
Summa	100	100	100	100	100	100	100

Motorcyklar

Tabell 50: Fordonstyper, motorcyklar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	100,00	-	-	-
B90	-	25,00	12,50	0,00
M50	-	50,00	30,00	10,00
M100	-	10,00	10,00	10,00
H2 FC	-	0,00	17,50	35,00
El	-	15,00	30,00	45,00
Summa	100	100	100	100

Lätta lastbilar

Tabell 51: Fordonstyper, lätta lastbilar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	21,29	-	-	-
D90	78,71	-	-	-
D80	-	5,00	2,50	-
M50	-	15,00	7,50	-
M100	-	10,00	5,00	-
DME	-	15,00	7,50	-
Laddhybrid M50	-	11,25	5,63	-
Laddhybrid M100	-	11,25	5,63	-
Laddhybrid DME	-	11,25	5,63	-
Laddhybrid H2 FC	-	-	18,75	48,75
Laddhybrid DME FC	-	-	5,63	5,63
Laddhybrid Metanol FC	-	-	5,63	5,63
Laddhybrid el	-	11,25	15,63	20,00
El	-	10,00	15,00	20,00
Summa	100	100	100	100

Fjärrlastbilar

Tabell 52: Fordonstyper, fjärrlastbilar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	1,50	-	-	-
D90	98,50	-	-	-
Biodiesel	-	30,00	15,00	0,00
D80	-	20,00	10,00	0,00
El	-	-	15,00	30,00
DME ICE	-	50,00	25,00	0,00
Laddhybrid DME FC	-	-	11,25	22,50
Laddhybrid H2 FC	-	-	15,00	30,00
Laddhybrid El	-	-	8,75	17,50
Summa	100	100	100	100

Distributionslastbilar

Tabell 53: Fordonstyper, distributionslastbilar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	1,50	-	-	-
D90	98,50	-	-	-
D80	-	5,00	2,50	0,00
DME	-	-	-	-
El	-	0,00	0,00	0,00
Laddhybrid DME ICE	-	15,00	7,50	0,00
Laddhybrid DME FC	-	30,00	35,00	40,00
Laddhybrid H2 FC	-	37,50	20,63	3,75
Laddhybrid El	-	0,00	7,50	7,50
Summa	100	100	100	100

Husbilar

Tabell 54: Fordonstyper, husbilar

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
B95	17,18	-	-	-
B90	-	20	20	-
D90	82,82	-	-	-
D80	-	20	10	0
M50	-	25	12,5	0
M100	-	10	10	10
DME ICE	-	25	17,5	10
Laddhybrid Metanol				
FC	-	0	5,625	11,3
Laddhybrid DME FC	-	0	5,625	11,3
Laddhybrid H2 FC	-	0	18,75	37,5
Laddhybrid El	-	0	10	20
Summa	100	100	110	100

Maskiner

Tabell 55: Fordonstyper, arbetsmaskiner

Fordonstyp/år	2010	2030	2040	2050
Biodiesel	-	30,00	15,00	0,00
D90	100,00	-	-	-
D80	-	10,00	5,00	0,00
DME ICE	-	60,00	35,00	10,00
Laddhybrid DME FC	-	-	16,88	33,75
Laddhybrid H2 FC	-	-	16,88	33,75
Laddhybrid El	-	-	11,25	22,50
Summa	100	100	100	100

Appendix B - Power to gas

I tider av hög elproduktion kan elpriset bli mycket lågt eller negativt vilket gör power to gas till en potentiellt intressant teknik. Byman et al (2013) har studerat vilka faktorer som påverkar lönsamheten för power to gas och kommit fram till fyra faktorer

- Elpris relativt gaspris
- Hur lång tid som elpriset är tillräckligt lågt (driftstimmar)
- Möjlig avsättning för värme
- Möjlighet att distribuera och lagra i ledningsnät

Sammanfattningsvis kan sägas att varianter av power to gas troligen har en roll att spela i ett framtida energisystem men denna kommer inte att simuleras i modellen.

Teknologin är dock intressant nog att utredas vidare. Elpris liksom eventuella stöd eller skatter förutsätts vara lika över hela landet och påverkar således inte lokaliseringen av power to gas liksom avsättning för värme som förutsätts finnas i större städer. På västkusten och i övriga södra delen av Götaland finns även ett effektproblem som Byman et al (2013) inte behandlar i sin rapport. Denna region har redan idag ett ansträngt elnät då en relativt stor del av befolkningen bor i detta område och en stor del av elproduktionen sker längre norrut. Området har goda förutsättningar för förnybar intermittent elproduktion i form av sol och vindkraft och en massiv utbyggnad av denna bör sätta nya krav på ett redan ansträngt elnät. Vidare har området relativt hög befolkningstillväxt kombinerat med relativt lite biomassatillväxt vilket gör att power to gas bör bli än mer intressant. Ledningsnät för gas finns i Göteborgsområdet samt Stockholm varför de första storskaliga anläggningarna bör placeras primärt på västkusten eller till viss del i stockholmsområdet.

Transmissionsnätet för elektricitet i Sverige har dock vissa flaskhalsar i nord-sydlig riktning och den stora yta som finns i norra Sverige gör att det är rimligt att anta att en stor del av vindkraftproduktionen förläggs där. Söder (2013) har i studier konstaterat att en utbyggnad kring 30 TWh kräver betydande investeringar i det svenska kraftnätet för att förstärka överföringskapaciteten i nord-sydlig riktning och säkerställa reglerkapaciteten, att förlägga storskaliga anläggningar i södra halvan av Sverige löser därmed inte problem med effektöverskott i norra Sverige vilket gör att inga kostnader för förstärkning av elnätet minskas. Således bör stora anläggningar förläggas i norra Sverige där tillgången på biomassa är god men avsättning för stora mängder värme, som bildas vid hydrolys, i fjärrvärmenät är begränsad på grund av mindre tätorter. Troligen förläggs de första storskaliga power to gas-enheter i norr för att effektivt reglera stora mängder vindkraft. Avsättning för vätgas kan fås inom gruvindustrin som utreder möjligheter för att ersätta kol med förnybart producerad vätgas i järn och ståltillverkning SSAB (2016).

Uppsala får sannolikt ett mindre vätgasnät mot slutet av perioden vilket gör att alla förutsättningar då förutsätts vara uppfyllda för en implementering av power to gas-teknologi förutom flaskhalsar i transmissionsnätet. Det är därför möjligt att Uppsala får

en anläggning för Power to gas i slutet av den avsedda perioden. Då ingen region i landet uppfyller alla kriterier för att ha en lönsam anläggning förutsätts endast något mindre anläggningar som bara är i drift vid ett fördelaktigt elpris byggas varför de inte bidrar med några betydande energiflöden och således inte påverkar resultaten i simuleringen i större utsträckning. Vidare är transmissionsnätet av elektricitet kring Uppsala relativt starkt i både nordsydlig och östvästlig riktning på grund av närheten till Forsmark och förutsättningar för vindkraft är relativt dåliga i länet varför det inte byggs ännu.

Energimyndigheten (2016) anger att utbyggnadstakten av vindkraft har varierat mellan 603 och 950 MW sedan 2010. Sedan år 2000 har utnyttjandegraden i medelvärde och median varit 21 %. Antaget bibehållen utnyttjandegrad och en utbyggnadstakt om 850 MW per år uppnås 30 TWh till 2027 och 60 TWh till år 2047. Solkraft hade enligt Energiläget en installerad effekt om 79 MW år 2014.

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000